

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I

THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I



FACULTÉ DES SCIENCES

FACULTY OF SCIENCE

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES
DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

Laboratoire de Parasitologie et Écologie
Laboratory of Parasitology and Ecology

**Variations morphologiques dans le groupe *Bulinus forskalii* (Gastropoda :
Planorbidae) et compatibilité avec les schistosomes au Cameroun**

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du Diplôme de
Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Animaux
Option : Parasitologie et Écologie

Par

BASGA PARFAIT LAURENT

Matricule 10Q0069

Master ès-Sciences

Soutenue publiquement le 28 mai 2024 devant le jury composé de

Président : **FOMENA Abraham**, Professeur, Université de Yaoundé I ;

Rapporteur : **MIMPFOUNDI Rémy**, Professeur, Université de Yaoundé I ;

Membres : **NJIOKOU Flobert**, Professeur, Université de Yaoundé I ;

MBIDA MBIDA Jean Arthur, Maître de Conférences, Université de Douala ;

MAHOB Raymond Joseph, Maître de Conférences, Université de Yaoundé I.



Année 2024

REPUBLIQUE DU CAMEROUN
Paix - Travail - Patrie

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I
FACULTÉ DES SCIENCES

B.P. 812 Yaoundé
Tél: (237) 242239584
Fax: (237) 242234496



REPUBLIC OF CAMEROON
Peace - Work - Fatherland

UNIVERSITY OF YAOUNDE I
FACULTY OF SCIENCE

P.O. BOX 812 Yaounde
Phone: (237) 242239584
Fax: (237) 242234496

DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES
DEPARTMENT OF ANIMAL BIOLOGY AND PHYSIOLOGY

ATTESTATION DE CORRECTION

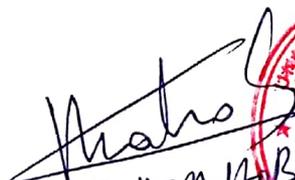
Nous soussignés, membres du jury de soutenance de la **Thèse de Doctorat/Ph.D en Biologie des Organismes Animaux**, option : **Parasitologie et Écologie**, de Monsieur **BASGA Parfait Laurent**, matricule **10Q0069**, soutenance autorisée par la correspondance N° **24-0320/UYI/VREPDTIC/DAAC/DRD/SR/CB-AP** de Monsieur le Recteur de l'Université de Yaoundé I en date du **21 mai 2024** sur le sujet intitulé : « **Variations morphologiques dans le groupe *Bulinus forskalii* et compatibilité avec les schistosomes au Cameroun** », attestons que les corrections exigées au candidat lors de cette évaluation, qui a eu lieu le **mardi 28 mai 2024** dans la **salle Multimédia de la Faculté des Sciences**, ont réellement été effectuées et que le présent document peut être déposé sous sa forme actuelle.

En foi de quoi, la présente attestation lui est délivrée pour servir et valoir ce que de droit.

Fait à Yaoundé, le.....**03 JUIL 2024**.....

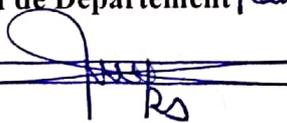
Les Examinateurs


Pi Rngokou


Pi MAAB

Le Chef de Département | ai




Sévilor KEKEUNOU
Faculté des Sciences
Université de Yaoundé I

Le Président du Jury


Fomena Abraham
Professeur

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I Faculté des Sciences Division de la Programmation et du Suivi des Activités Académiques		THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I Faculty of Science Division of Programming and Follow-up of Academic Affairs
--	--	---

ANNÉE ACADEMIQUE 2023/2024
 (Par Département et par Grade)
DATE D'ACTUALISATION 04 Juin 2024

ADMINISTRATION

DOYEN : TCHOUANKEU Jean- Claude, *Professeur*
VICE-DOYEN / DPSAA : ATCHADE Alex de Théodore, *Professeur*
VICE-DOYEN / DSSE : NYEGUE Maximilienne Ascension, *Professeur*
VICE-DOYEN / DRC : NOUNDJEU Pierre, *Maître de Conférences*
Chef Division Administrative et Financière : NDOYE FOE Florentine Marie Chantal, *Maître de Conférences*
Chef Division des Affaires Académiques, de la Recherche et de la Scolarité DAARS :
 AJEAGAH Gideon AGHAINDUM, *Professeur*

1- DÉPARTEMENT DE BIOCHIMIE (BC) (43)

N°	NOMS ET PRÉNOMS	GRADE	OBSERVATIONS
1.	BIGOGA DAIGA Jude	Professeur	En poste
2.	FEKAM BOYOM Fabrice	Professeur	En poste
3.	KANSCI Germain	Professeur	En poste
4.	MBACHAM FON Wilfred	Professeur	En poste
5.	MOUNDIPA FEWOU Paul	Professeur	<i>Chef de Département</i>
6.	NGUEFACK Julienne	Professeur	En poste
7.	NJAYOU Frédéric Nico	Professeur	En poste
8.	OBEN Julius ENYONG	Professeur	En poste
9.	ACHU Merci BIH	Maître de Conférences	En poste
10.	ATOGHO Barbara MMA	Maître de Conférences	En poste
11.	AZANTSA KINGUE GABIN BORIS	Maître de Conférences	En poste
12.	BELINGA née NDOYE FOE F. M. C.	Maître de Conférences	<i>Chef DAF / FS</i>
13.	DAKOLE DABOY Charles	Maître de Conférences	En poste
14.	DONGMO LEKAGNE Joseph Blaise	Maître de Conférences	En poste
15.	DJUIDJE NGOUNOUE Marceline	Maître de Conférences	En poste
16.	DJUIKWO NKONGA Ruth Viviane	Maître de Conférences	En poste
17.	EFFA ONOMO Pierre	Maître de Conférences	<i>VD/FS/Univ Ebwa</i>
18.	EWANE Cécile Annie	Maître de Conférences	En poste
19.	KOTUE TAPTUE Charles	Maître de Conférences	En poste
20.	LUNGA Paul KEILAH	Maître de Conférences	En poste
21.	MANANGA Marlyse Joséphine	Maître de Conférences	En poste
22.	MBONG ANGIE M. Mary Anne	Maître de Conférences	En poste
23.	MOFOR née TEUGWA Clotilde	Maître de Conférences	<i>Doyen FS / UDs</i>
24.	NANA Louise épouse WAKAM	Maître de Conférences	En poste
25.	NGONDI Judith Laure	Maître de Conférences	En poste
26.	Palmer MASUMBE NETONGO	Maître de Conférences	En poste

27.	PECHANGOU NSANGO Sylvain	Maître de Conférences	En poste
28.	TCHANA KOUATCHOUA Angèle	Maître de Conférences	En poste

29.	AKINDEH MBUH NJI	Chargé de Cours	En poste
30.	BEBEE Fadimatou	Chargée de Cours	En poste
31.	BEBOY EDJENGUELE Sara N.	Chargé de Cours	En poste
32.	FONKOUA Martin	Chargé de Cours	En poste
33.	FOUPOUPOUOGNIGNI Yacouba	Chargé de Cours	En poste
34.	KOUOH ELOMBO Ferdinand	Chargé de Cours	En poste
35.	MBOUCHE FANMOE Marceline J.	Chargé de Cours	En poste
36.	OWONA AYISSI Vincent Brice	Chargé de Cours	En poste
37.	WILFRED ANGIE ABIA	Chargé de Cours	En poste

38.	BAKWU BASSOGOG Christian Bernard	Assistant	En poste
39.	ELLA Fils Armand	Assistant	En poste
40.	EYENGA Eliane Flore	Assistant	En poste
41.	MADIESSE KEMGNE Eugenie Aimée	Assistant	En poste
42.	MANJIA NJIKAM Jacqueline	Assistant	En poste
43.	WOGUIA Alice Louise	Assistant	En poste

2- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE ANIMALES (BPA) (49)

1.	AJEAGAH Gideon AGHAINDUM	Professeur	<i>DAARS/FS</i>
2.	DIMO Théophile	Professeur	En poste
3.	DJIETO LORDON Champlain	Professeur	En poste
4.	DZEUFLET DJOMENI Paul Désiré	Professeur	En poste
5.	ESSOMBA née NTSAMA MBALA	Professeur	<i>CD et Vice Doyen/FMSB/UIYI</i>
6.	KEKEUNOU Sévilor	Professeur	<i>Chef de Département (a.i)</i>
7.	NJAMEN Dieudonné	Professeur	En poste
8.	NOLA Moïse	Professeur	En poste
9.	TAN Paul VERNYUY	Professeur	En poste
10.	TCHUEM TCHUENTE Louis Albert	Professeur	<i>Inspecteur de service / Coord.Progr./MINSANTE</i>
11.	ZEBAZE TOGOUET Serge Hubert	Professeur	En poste

12.	ALENE Désirée Chantal	Maître de Conférences	<i>Vice Doyen/ Uté Ebwa</i>
13.	ATSAMO Albert Donatien	Maître de Conférences	En poste
14.	BILANDA Danielle Claude	Maître de Conférences	En poste
15.	DJIOGUE Séfirin	Maître de Conférences	En poste

16.	GOUNOUE KAMKUMO Raceline épse FOTSING	Maître de Conférences	En poste
17.	JATSA BOUKENG Hermine épse MEGAPTCHE	Maître de Conférences	En Poste
18.	KANDEDA KAVAYE Antoine	Maître de Conférences	En poste
19.	LEKEUFACK FOLEFACK Guy B.	Maître de Conférences	En poste
20.	MAHOB Raymond Joseph	Maître de Conférences	En poste
21.	MBENOUN MASSE Paul Serge	Maître de Conférences	En poste
22.	MEGNEKOU Rosette	Maître de Conférences	En poste
23.	MOUNGANG Luciane Marlyse	Maître de Conférences	En poste
24.	NOAH EWOTI Olive Vivien	Maître de Conférences	En poste
25.	MONY Ruth épse NTONE	Maître de Conférences	En Poste
26.	MVEYO NDANKEU Yves Patrick	Maître de Conférences	En poste
27.	NGUEGUIM TSOFAK Florence	Maître de Conférences	En poste
28.	NGUEMBOCK	Maître de Conférences	En poste
29.	TAMSA ARFAO Antoine	Maître de Conférences	En poste
30.	TOMBI Jeannette	Maître de Conférences	En poste

31.	AMBADA NDZENGUE GEORGIA ELNA	Chargé de Cours	En poste
32.	BASSOCK BAYIHA Etienne Didier	Chargé de Cours	En poste
33.	ETEME ENAMA Serge	Chargé de Cours	En poste
34.	FEUGANG YOUMSSI François	Chargé de Cours	En poste
35.	FOKAM Alvine Christelle Epse KENGNE	Chargé de Cours	En poste
36.	GONWOUO NONO Legrand	Chargé de Cours	En poste
37.	KOGA MANG DOBARA	Chargé de Cours	En poste
38.	LEME BANOCK Lucie	Chargé de Cours	En poste
39.	MAPON NSANGO Indou	Chargé de Cours	En poste
40.	METCHI DONFACK MIREILLE FLAURE EPSE GHOUMO	Chargé de Cours	En poste
41.	NGOUATEU KENFACK Omer Bébé	Chargé de Cours	En poste
42.	NJUA Clarisse YAFI	Chargée de Cours	<i>Chef Div. Uté Bamenda</i>
43.	NWANE Philippe Bienvenu	Chargé de Cours	En poste
44.	TADU Zephyrin	Chargé de Cours	En poste
45.	YEDE	Chargé de Cours	En poste
46.	YOUNOUSSA LAME	Chargé de Cours	En poste

47.	KODJOM WANCHE Jacguy Joyce	Assistante	En poste
48.	NDENGUE Jean De Matha	Assistant	En poste
49.	ZEMO GAMO Franklin	Assistant	En poste

3- DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES (BPV) (32)

1.	AMBANG Zachée	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	DJOCGOUE Pierre François	Professeur	En poste

3.	MBOLO Marie	Professeur	En poste
4.	MOSSEBO Dominique Claude	Professeur	En poste
5.	NDONGO BEKOLO	Professeur	En poste
6.	ZAPFACK Louis	Professeur	En poste

7.	ANGONI Hyacinthe	Maître de Conférences	En poste
8.	BIYE Elvire Hortense	Maître de Conférences	En poste
9.	MAHBOU SOMO TOUKAM. Gabriel	Maître de Conférences	En poste
10.	MALA Armand William	Maître de Conférences	En poste
11.	MBARGA BINDZI Marie Alain	Maître de Conférences	<i>DAAC /UDla</i>
12.	NGALLE Hermine BILLE	Maître de Conférences	En poste
13.	NGONKEU MAGAPTCHE Eddy L.	Maître de Conférences	<i>CT / MINRESI</i>
14.	TONFACK Libert Brice	Maître de Conférences	En poste
15.	TSOATA Esaïe	Maître de Conférences	En poste
16.	ONANA JEAN MICHEL	Maître de Conférences	En poste

17.	DJEUANI Astride Carole	Chargé de Cours	En poste
18.	GONMADGE CHRISTELLE	Chargé de Cours	En poste
19.	MAFFO MAFFO Nicole Liliane	Chargé de Cours	En poste
20.	MANGA NDJAGA JUDE	Chargé de Cours	En poste
21.	NNANGA MEBENGA Ruth Laure	Chargé de Cours	En poste
22.	NOUKEU KOUAKAM Armelle	Chargé de Cours	En poste
23.	NSOM ZAMBO EPSE PIAL ANNIE CLAUDE	Chargé de Cours	<i>En détachement / UNESCO MALI</i>
24.	GODSWILL NTSOMBOH NTSEFONG	Chargé de Cours	En poste
25.	KABELONG BANAHOU Louis-Paul- Roger	Chargé de Cours	En poste
26.	KONO Léon Dieudonné	Chargé de Cours	En poste
27.	LIBALAH Moses BAKONCK	Chargé de Cours	En poste
28.	LIKENG-LI-NGUE Benoit C	Chargé de Cours	En poste
29.	TAEDOUNG Evariste Hermann	Chargé de Cours	En poste
30.	TEMEGNE NONO Carine	Chargé de Cours	En poste

31.	DIDA LONTSI Sylvere Landry	Assistant	En poste
32.	METSEBING Blondo-Pascal	Assistant	En poste

4- DÉPARTEMENT DE CHIMIE INORGANIQUE (CI) (27)

1.	GHOGOMU Paul MINGO	Professeur	<i>Ministre Chargé de Mission PR</i>
2.	NANSEU NJIKI Charles Péguy	Professeur	En poste
3.	NDIFON Peter TEKE	Professeur	<i>CT MINRESI</i>
4.	NENWA Justin	Professeur	En poste
5.	NGOMO Horace MANGA	Professeur	<i>Vice Chancellor/UB</i>
6.	NJIOMOU C. épse DJANGANG	Professeur	En poste

7.	NJOYA Dayirou	Professeur	En poste
8.	ACAYANKA Elie	Maître de Conférences	En poste
9.	EMADAK Alphonse	Maître de Conférences	En poste
10.	KAMGANG YOUBI Georges	Maître de Conférences	En poste
11.	KEMMEGNE MBOUGUEM Jean C.	Maître de Conférences	En poste
12.	KENNE DEDZO GUSTAVE	Maître de Conférences	En poste
13.	MBEY Jean Aime	Maître de Conférences	En poste
14.	NDI NSAMI Julius	Maître de Conférences	<i>Chef de Département</i>
15.	NEBAH Née NDOSIRI Bridget NDOYE	Maître de Conférences	<i>Sénatrice/SENAT</i>
16.	NYAMEN Linda Dyorisse	Maître de Conférences	En poste
17.	PABOUDAM GBAMBIE AWAWOU	Maître de Conférences	En poste
18.	TCHAKOUTE KOUAMO Hervé	Maître de Conférences	En poste
19.	BELIBI BELIBI Placide Désiré	Maître de Conférences	<i>Chef Service/ ENS Bertoua</i>
20.	CHEUMANI YONA Arnaud M.	Maître de Conférences	En poste
21.	KOUOTOU DAOUDA	Maître de Conférences	En poste

22.	MAKON Thomas Beauregard	Chargé de Cours	En poste
23.	NCHIMI NONO KATIA	Chargée de Cours	En poste
24.	NJANKWA NJABONG N. Eric	Chargé de Cours	En poste
25.	PATOUOSSA ISSOFA	Chargé de Cours	En poste
26.	SIEWE Jean Mermoz	Chargé de Cours	En Poste
27.	BOYOM TATCHEMO Franck W.	Assistant	En Poste

6- DÉPARTEMENT DE CHIMIE ORGANIQUE (CO) (34)

1.	Alex de Théodore ATCHADE	Professeur	<i>Vice-Doyen / DPSAA</i>
2.	DONGO Etienne	Professeur	<i>Vice-Doyen/FSE/UIYI</i>
3.	NGOUELA Silvère Augustin	Professeur	<i>Chef de Département UDS</i>
4.	PEGNYEMB Dieudonné Emmanuel	Professeur	<i>Recteur UBertoua/ Chef de Département</i>
5.	MBAZOA née DJAMA Céline	Professeur	En poste
6.	MKOUNGA Pierre	Professeur	En poste
7.	TCHOUANKEU Jean-Claude	Professeur	<i>Doyen /FS/ UYI</i>

8.	AMBASSA Pantaléon	Maître de Conférences	En poste
9.	EYONG Kenneth OBEN	Maître de Conférences	En poste
10.	FOTSO WABO Ghislain	Maître de Conférences	En poste
11.	KAMTO Eutrophe Le Doux	Maître de Conférences	En poste
12.	KENMOGNE Marguerite	Maître de Conférences	En poste
13.	KOUAM Jacques	Maître de Conférences	En poste

14.	MVOT AKAK CARINE	Maître de Conférences	En poste
15.	NGO MBING Joséphine	Maître de Conférences	<i>Chef de Cellule MINRESI</i>
16.	NGONO BIKOBO Dominique Serge	Maître de Conférences	<i>C.E.A/ MINESUP</i>
17.	NOTE LOUGBOT Olivier Placide	Maître de Conférences	<i>Dir ENS/Uté Bertoua</i>
18.	NOUNGOUE TCHAMO Diderot	Maître de Conférences	En poste
19.	TABOPDA KUATE Turibio	Maître de Conférences	En poste
20.	TAGATSING FOTSING Maurice	Maître de Conférences	En poste
21.	OUAHOUE WACHE Blandine M.	Maître de Conférences	En poste
22.	ZONDEGOUMBA Ernestine	Maître de Conférences	En poste

23.	MESSI Angélique Nicolas	Chargé de Cours	En poste
24.	MUNVERA MFIFEN Aristide	Chargé de Cours	En poste
25.	NGNINTEDO Dominique	Chargé de Cours	En poste
26.	NGOMO Orléans	Chargée de Cours	En poste
27.	NONO NONO Éric Carly	Chargé de Cours	En poste
28.	OUETE NANTCHOUANG Judith Laure	Chargée de Cours	En poste
29.	SIELINOUE TEDJON Valérie	Chargé de Cours	En poste
30.	TCHAMGOUE Joseph	Chargé de Cours	En poste
31.	TSAFFACK Maurice	Chargé de Cours	En poste
32.	TSAMO TONTSA Armelle	Chargé de Cours	En poste
33.	TSEMEUGNE Joseph	Chargé de Cours	En poste

34.	NDOGO ETEME Olivier	Assistant	En poste
-----	---------------------	-----------	----------

6- DEPARTEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES (ER) (1)

1.	BODO Bertrand	Professeur	<i>Chef de Département</i>
----	---------------	------------	----------------------------

7- DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE (IN) (22)

1.	ATSA ETOUNDI Roger	Professeur	<i>Chef de Division des SI/ MINESUP</i>
2.	FOUDA NDJODO Marcel Laurent	Professeur	<i>Inspecteur Général Académique/ MINESUP</i>

3.	NDOUNDAM René	Maître de Conférences	En poste
4.	TSOPZE Norbert	Maître de Conférences	En poste

5.	ABESSOLO ALO'O Gislain	Chargé de Cours	<i>Chef de Cellule MINFOPRA</i>
6.	AMINOUE HALIDOU	Chargé de Cours	<i>Chef de Département</i>
7.	DJAM Xaviera YOUH - KIMBI	Chargé de Cours	En Poste
8.	DOMGA KOMGUEM Rodrigue	Chargé de Cours	En poste

9.	EBELE Serge Alain	Chargé de Cours	En poste
10.	HAMZA Adamou	Chargé de Cours	En poste
11.	JIOMEKONG AZANZI Fidel	Chargé de Cours	En poste
12.	KOUOKAM KOUOKAM E. A.	Chargé de Cours	En poste
13.	MELATAGIA YONTA Paulin	Chargé de Cours	En poste
14.	MESSI NGUELE Thomas	Chargé de Cours	En poste
15.	MONTHÉ DJIADEU Valéry M.	Chargé de Cours	En poste
16.	NZEKON NZEKO'O ARMEL JACQUES	Chargé de Cours	En poste
17.	OLLE OLLE Daniel Claude Georges Delort	Chargé de Cours	<i>Directeur Adjoint ENSET Ebolowa</i>
18.	TAPAMO Hyppolite	Chargé de Cours	En poste

19.	BAYEM Jacques Narcisse	Assistant	En poste
20.	EKODECK Stéphane Gaël Raymond	Assistant	En poste
21.	MAKEMBE. S . Oswald	Assistant	<i>Directeur CUTI</i>
22.	NKONDOCK. MI. BAHANACK.N.	Assistant	En poste

8- DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES (MA) (33)

1.	AYISSI Raoult Domingo	Professeur	<i>Chef de Département</i>
----	-----------------------	------------	----------------------------

2.	KIANPI Maurice	Maître de Conférences	En poste
3.	MBANG Joseph	Maître de Conférences	En poste
4.	MBEHOU Mohamed	Maître de Conférences	<i>Chef de Division / ENSPY</i>
5.	MBELE BIDIMA Martin Ledoux	Maître de Conférences	<i>Chef de Département de modélisation et applications industrielles / ENSPY</i>
6.	NOUNDJEU Pierre	Maître de Conférences	<i>VDRC/FS/UIYI</i>
7.	TAKAM SOH Patrice	Maître de Conférences	En poste
8.	TCHAPNDA NJABO Sophonie B.	Maître de Conférences	<i>Directeur/AIMS Rwanda</i>
9.	TCHOUNDJA Edgar Landry	Maître de Conférences	En poste

10.	AGHOUKENG JIOFACK Jean Gérard	Chargé de Cours	<i>Chef Cellule MINEPAT</i>
11.	BOGSO ANTOINE Marie	Chargé de Cours	En poste
12.	BITYE MVONDO Esther Claudine	Chargé de Cours	En poste
13.	CHENDJOU Gilbert	Chargé de Cours	En poste
14.	DJIADEU NGAHA Michel	Chargé de Cours	En poste
15.	DOUANLA YONTA Herman	Chargé de Cours	En poste
16.	KIKI Maxime Armand	Chargé de Cours	En poste
17.	LOUMNGAM KAMGA Victor	Chargé de Cours	En poste

18.	MBAKOP Guy Merlin	Chargé de Cours	En poste
19.	MBATAKOU Salomon Joseph	Chargé de Cours	En poste
20.	MENGUE MENGUE David Joël	Chargé de Cours	<i>Chef Dpt /ENS Université d'Ebolowa</i>
21.	MBIAKOP Hilaire George	Chargé de Cours	En poste
22.	NGUEFACK Bernard	Chargé de Cours	En poste
23.	NIMPA PEFOUKEU Romain	Chargée de Cours	En poste
24.	OGADOA AMASSAYOGA	Chargée de Cours	En poste
25.	POLA DOUNDOU Emmanuel	Chargé de Cours	<i>En stage</i>
26.	TENKEU JEUFACK Yannick Léa	Chargé de Cours	En poste
27.	TCHEUTIA Daniel Duviol	Chargé de Cours	En poste
28.	TETSADJIO TCHILEPECK M. Eric.	Chargé de Cours	En poste

29.	FOKAM Jean Marcel	Assistant	En poste
30.	GUIDZAVAI KOUCHERE Albert	Assistant	En poste
31.	MANN MANYOMBE Martin Luther	Assistant	En poste
32.	MEFENZA NOUNTU Thiery	Assistant	En poste
33.	NYOUMBI DLEUNA Christelle	Assistant	En poste

9- DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE (MIB) (24)

1.	ESSIA NGANG Jean Justin	Professeur	<i>Chef de Département</i>
2.	NYEGUE Maximilienne Ascension	Professeur	<i>VICE-DOYEN / DSSE</i>
3.	SADO KAMDEM Sylvain Leroy	Professeur	En poste

4.	ASSAM ASSAM Jean Paul	Maître de Conférences	En poste
5.	BOUGNOM Blaise Pascal	Maître de Conférences	En poste
6.	BOYOMO ONANA	Maître de Conférences	En poste
7.	KOITCHOU MABEKEU Epse KOUAM Laure Brigitte	Maître de Conférences	En poste
8.	RIWOM Sara Honorine	Maître de Conférences	En poste
9.	NJIKI BIKOÏ Jacky	Maître de Conférences	En poste
10.	TCHIKOUA Roger	Maître de Conférences	<i>Chef de Service de la Scolarité</i>

11.	ESSONO Damien Marie	Chargé de Cours	En poste
12.	LAMYE Glory MOH	Chargé de Cours	En poste
13.	MEYIN A EBONG Solange	Chargé de Cours	En poste
14.	MONI NDEDI Esther Del Florence	Chargé de Cours	En poste
15.	NKOUDOU ZE Nardis	Chargé de Cours	En poste
16.	NKOUÉ TONG Abraham	Chargé de Cours	En poste
17.	TAMATCHO KWEYANG Blandine Pulchérie	Chargé de Cours	En poste
18.	SAKE NGANE Carole Stéphanie	Chargé de Cours	En poste
19.	TOBOLBAÏ Richard	Chargé de Cours	En poste

20.	EZO'O MENGO Fabrice Télésfor	Assistant	En poste
21.	EHETH Jean Samuel	Assistant	En poste
22.	MAYI Marie Paule Audrey	Assistant	En poste
23.	NGOUEMAM Romial Joël	Assistant	En poste
24.	NJAPNDOUNKE Bilkissou	Assistant	En poste

10. DEPARTEMENT DE PHYSIQUE(PHY) (42)

1.	BEN- BOLIE Germain Hubert	Professeur	En poste
2.	BIYA MOTTO Frédéric	Professeur	<i>DG/HYDRO Mekin</i>
3.	DJUIDJE KENMOE épouse ALOYEM	Professeur	En poste
4.	EKOBENA FOU DA Henri Paul	Professeur	<i>Vice-Recteur. Uté Ngaoundéré</i>
5.	ESSIMBI ZOBO Bernard	Professeur	En poste
6.	EYEBE FOU DA Jean sire	Professeur	En poste
7.	HONA Jacques	Professeur	En poste
8.	NANA ENGO Serge Guy	Professeur	En poste
9.	NANA NBENDJO Blaise	Professeur	En poste
10.	NDJAKA Jean Marie Bienvenu	Professeur	<i>Chef de Département</i>
11.	NJANDJOCK NOUCK Philippe	Professeur	En poste
12.	NOUAYOU Robert	Professeur	En poste
13.	SAIDOU	Professeur	<i>Chef de centre/IRGM/MINRESI</i>
14.	SIMO Elie	Professeur	En poste
15.	TABOD Charles TABOD	Professeur	<i>Doyen FSUniv/Bda</i>
16.	TCHAWOUA Clément	Professeur	En poste
17.	WOAFO Paul	Professeur	En poste
18.	ZEKENG Serge Sylvain	Professeur	En poste

19.	ENYEGUE A NYAM épse BELINGA	Maître de Conférences	<i>Chef de Division de la formation continue et à distance</i>
20.	FEWO Serge Ibraïd	Maître de Conférences	En poste
21.	FOUEJIO David	Maître de Conférences	<i>Chef Cell. MINADER</i>
22.	MBINACK Clément	Maître de Conférences	En poste
23.	MBONO SAMBA Yves Christian U.	Maître de Conférences	En poste
24.	MELI'I Joelle Larissa	Maître de Conférences	En poste
25.	MVOGO ALAIN	Maître de Conférences	En poste
26.	NDOP Joseph	Maître de Conférences	En poste
27.	SIEWE SIEWE Martin	Maître de Conférences	En poste
28.	VONDOU Derbetini Appolinaire	Maître de Conférences	En poste
29.	WAKATA née BEYA Annie Sylvie	Maître de Conférences	<i>Directeur/ENS/UYI</i>
30.	WOULACHE Rosalie Laure	Maître de Conférences	<i>En stage depuis février 2023</i>

31.	ABDOURAHIMI	Chargé de Cours	En poste
32.	AYISSI EYEBE Guy François Valérie	Chargé de Cours	En poste
33.	CHAMANI Roméo	Chargé de Cours	En poste
34.	DJIOTANG TCHOTCHOU Lucie Angennes	Chargée de Cours	En poste
35.	EDONGUE HERVAIS	Chargé de Cours	En poste
36.	KAMENI NEMATCHOUA Modeste	Chargé de Cours	En poste
37.	LAMARA Maurice	Chargé de Cours	En poste
38.	NGA ONGODO Dieudonné	Chargé de Cours	En poste
39.	OTTOU ABE Martin Thierry	Chargé de Cours	Directeur Unité de production des réactifs/IMPM
40.	TEYOU NGOUPO Ariel	Chargé de Cours	En poste
41.	WANDJI NYAMSI William	Chargé de Cours	En poste
42.	SOUFFO TAGUEU Merimé	Assistant	En poste

11- DÉPARTEMENT DE SCIENCES DE LA TERRE (ST) (43)

1.	BITOM Dieudonné-Lucien	Professeur	<i>Doyen / FASA /Uds</i>
2.	EKOMANE Emile	Professeur	<i>Chef Div./Uté Ebolowa</i>
3.	GANNO Sylvestre	Professeur	En poste
4.	NDAM NGOUPAYOU Jules-Remy	Professeur	En poste
5.	NDJIGUI Paul-Désiré	Professeur	<i>Chef de Département</i>
6.	NGOS III Simon	Professeur	En poste
7.	NKOUMBOU Charles	Professeur	En poste
8.	NZENTI Jean-Paul	Professeur	En poste
9.	ONANA Vincent Laurent	Professeur	<i>Chef de Département/Uté. Eb.</i>
10.	YENE ATANGANA Joseph Q.	Professeur	<i>Chef Div. /MINTP</i>

11.	BISSO Dieudonné	Maître de Conférences	En poste
12.	Elisé SABABA	Maitre de Conférences	En poste
13.	EYONG John TAKEM	Maître de Conférences	En poste
14.	FUH Calistus Gentry	Maître de Conférences	<i>Sec. D'Etat / MINMIDT (ai)</i>
15.	GHOGOMU Richard TANWI	Maître de Conférences	<i>Chef de Div. /Uté Bertoua</i>
16.	MBIDA YEM	Maitre de Conférences	En poste
17.	MBESSE Cécile Olive	Maitre de Conférences	En poste
18.	METANG Victor	Maître de Conférences	En poste
19.	MOUNDI Amidou	Maître de Conférences	<i>CT/MINIMDT</i>
20.	NGO BIDJECK Louise Marie	Maître de Conférences	En poste

21.	NGUEUTCHOUA Gabriel	Maître de Conférences	<i>CEA/MINRESI</i>
22.	NJILAH Isaac KONFOR	Maître de Conférences	En poste
23.	NYECK Bruno	Maître de Conférences	En poste
24.	TCHAKOUNTE Jacqueline épouse NUMBEM	Maître de Conférences	<i>Chef. Cell /MINRESI</i>
25.	TCHOUANKOUE Jean-Pierre	Maître de Conférences	En poste
26.	TEMGA Jean Pierre	Maître de Conférences	En poste
27.	ZO'O ZAME Philémon	Maître de Conférences	<i>DG/ART</i>

28.	ANABA ONANA Achille Basile	Chargé de Cours	En poste
29.	BEKOA Etienne	Chargé de Cours	En poste
30.	ESSONO Jean	Chargé de Cours	En poste
31.	MAMDEM TAMTO Lionelle Estelle, épouse BITOM	Chargée de Cours	En poste
32.	MINYEM Dieudonné	Chargé de Cours	<i>Chef Serv./Uté Maroua</i>
33.	NGO BELNOUN Rose Noël	Chargée de Cours	En poste
34.	NGO'O ZE ARNAUD	Chargé de Cours	En poste
35.	NOMO NEGUE Emmanuel	Chargé de Cours	En poste
36.	NTSAMA ATANGANA Jacqueline	Chargée de Cours	En poste
37.	TCHAPTCHET TCHATO De P.	Chargé de Cours	En poste
38.	TEHNA Nathanaël	Chargé de Cours	En poste
39.	FEUMBA Roger	Chargé de Cours	En poste
40.	MBANGA NYOBE Jules	Chargé de Cours	En poste

41.	KOAH NA LEBOGO Serge P.	Assistant	En poste
42.	NGO'O ZE ARNAUD	Assistant	En poste
43.	TENE DJOUKAM Joëlle Flore, épouse KOUANKAP NONO	Assistante	En poste

Répartition chiffrée des Enseignants de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I

NOMBRE D'ENSEIGNANTS					
DÉPARTEMENT	Professeurs	Maîtres de Conférences	Chargés de Cours	Assistants	Total
BCH	8 (01)	20 (12)	9 (04)	6 (05)	43 (22)
BPA	11 (01)	19 (09)	16 (05)	3 (02)	49 (17)
BPV	6 (01)	10 (02)	14 (08)	2 (00)	32 (11)
CI	7 (01)	14 (04)	5 (01)	1 (00)	27 (06)
CO	7 (01)	15 (05)	11 (05)	1 (00)	34 (11)
ER	1 (00)		/	/	1 (0)
IN	2 (00)	2 (00)	14 (01)	4 (00)	22 (01)
MAT	1 (00)	8 (00)	19 (02)	5 (01)	33 (03)
MIB	3 (01)	7 (03)	9 (05)	5 (02)	24 (11)
PHY	18 (01)	12 (04)	11 (01)	1 (00)	42 (06)
ST	10 (00)	17 (03)	13 (03)	3 (01)	45 (09)
Total	74 (07)	124 (42)	121 (35)	31 (11)	350 (95)

Soit un total de **350 (95)** dont :

- Professeurs **74 (07)**
- Maîtres de Conférences **124 (42)**
- Chargés de Cours **121 (35)**
- Assistants **31 (11)**

() = Nombre de Femmes **95**

À ma famille
et
à la mémoire de mes parents
WANGMENE Robert et EKEBE Julienne

« Sic parvis magna »

REMERCIEMENTS

Cette œuvre est une matérialisation des grâces et des bénédictions que l'**Eternel DIEU Tout Puissant** ne cesse de déverser chaque jour dans ma vie ; Il a pourvu à tous mes besoins financiers, intellectuels, logistiques et humains pour parachever les travaux de cette thèse. Que Son nom seul soit glorifié.

Cette thèse présente les travaux menés sur un thème de recherche proposé par Monsieur le Professeur MIMPFOUNDI Rémy ; il m'a accueilli dans son laboratoire depuis mon cycle d'initiation à la recherche. Par ses conseils et ses encouragements, il a suscité en moi un intérêt pour les études taxinomiques et biologiques sur les mollusques ; il m'a offert les commodités nécessaires pour la réalisation de ce travail, et son rôle a souvent largement dépassé le cadre académique, scientifique ou pédagogique. Du fond du cœur, je lui en suis infiniment reconnaissant.

Monsieur le Professeur BILONG BILONG Charles Félix, par ses conseils, ses suggestions et ses critiques constructives, m'a aidé à acquérir de nouvelles connaissances en analyse des données biologiques ; je lui exprime ici ma profonde reconnaissance.

Pendant la réalisation de ce travail, Messieurs les Professeurs NJIOKOU Flobert et KEKEUNOU Sévilor ont mis de nombreuses informations à ma disposition ; je leur en suis très reconnaissant et je continuerai de compter sur leur collaboration.

Les enseignants du Département de Biologie et Physiologie Animales de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I ont, chacun dans sa spécialité, contribué à ma formation académique ; puissent-ils trouver ici l'expression de ma profonde gratitude.

Monsieur le Docteur KAMWA NGASSAM Romuald Isaka de l'Université de Maroua a accepté de m'accueillir dans son laboratoire et il a mis à ma disposition son matériel, son laboratoire et ses étudiants lors de chacune de mes descentes sur le terrain dans les régions septentrionales ; il m'a accompagné dans toutes les étapes de ce travail. Je lui adresse, ainsi qu'à ses étudiants, mes sincères remerciements tout en formulant le vœu de pouvoir continuer à compter sur leur collaboration.

Monsieur le Docteur BAYIBEKI NGANO Albert, en m'accueillant dans son équipe de recherche à l'Université Catholique d'Afrique Centrale, m'a permis de finaliser cette thèse ; qu'il puisse trouver ici l'expression de ma déférente gratitude.

Messieurs le Professeur MAHOB Raymond Joseph et le Docteur NWANE Philippe Bienvenu, par leur suivi et leurs conseils, m'ont permis d'améliorer considérablement la qualité de ce travail ; pour cela et bien plus je leur en suis infiniment reconnaissant.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à mes aînés académiques FOMEKONG LONTCHI Judicaël et EBANGUE TITI Giovanni pour leur accompagnement et leurs conseils pratiques dans l'analyse des données statistiques.

Je remercie sincèrement Monsieur RAMAT TIDIKAÏ, Proviseur du Lycée Bilingue de Kousséri et Monsieur MBASSA À ZOM Landry, Censeur dans le même établissement, pour avoir toujours répondu favorablement à mes sollicitations administratives, ce qui m'a permis de réaliser sereinement ce travail.

Les familles ABDALLAH ALI à Kousséri et DJAMO à Maroua m'ont adopté, encouragé et motivé tout au long de mes travaux de recherche, tout autant que de nombreuses autres familles qui m'ont accueilli et logé lors de mes descentes sur le terrain ainsi que les chefs des villages Madalam, Marao et Sadamakou qui m'ont personnellement accompagné sur les sites d'échantillonnage ; à tous j'adresse mes sincères remerciements.

J'exprime également ma gratitude à mes collègues du Lycée Bilingue de Kousséri pour leur franche collaboration et leur accompagnement durant les travaux de cette thèse, tout spécialement à Messieurs BILOA Victor Maurice Michel Mathurin, MOUSSA LOUMPATA Olivier, BOUNI Godefroy Ulrich, COUËSSU' TOMENI Théophile, NGONO ETEME Éric Christian, CHIMOUN MFOUAPON Jean Valéry, ZIDANE Jérôme, ALHADJI GONI Hami, ZANJAM Rudolf , MANGA DA FEKWA et à Mesdames HADJA BATMA Salé, NAANA HABSA Adamou, IRANA YALDA Véronique, FANTA Bouba, INNA Aïssatou et KEMENYI Blandine.

Par leur soutien spirituel, les Révérends Pasteurs AGNANGMA À BESSONG Daniel, ASSIANG Léonard, ATCHANG BIDIAS Louis, KAMBANG Jean George, MAHAMAT ISSA et leurs familles respectives ainsi que l'évangéliste NNOUCK Julien Dax m'ont permis de garder espoir même quand je croyais la bataille perdue ; je leur en suis infiniment reconnaissant.

À tous, et à ceux dont je cite les noms dans le secret du cœur, je prie de considérer ce travail comme le fruit d'un effort collectif.

SOMMAIRE

DÉDICACE.....	xiii
REMERCIEMENTS	xiv
SOMMAIRE	xvi
LISTE DES FIGURES.....	xviii
LISTE DES TABLEAUX.....	xix
RÉSUMÉ.....	xx
ABSTRACT	xxii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE.....	6
I.1. Caractéristiques taxinomiques des bulins du groupe <i>Bulinus forskalii</i> en Afrique.....	7
I.2. Premières découvertes sur le groupe <i>Bulinus forskalii</i> au Cameroun.....	9
I.3. Conchyliologie et morphologie : sources de caractères taxinomiques dans le groupe <i>Bulinus forskalii</i>	10
I.4. Répartition géographique des espèces du groupe <i>Bulinus forskalii</i> au Cameroun	11
I.5. Écologie des sites de récolte.....	12
I.6. Espèces du groupe <i>Bulinus forskalii</i> hôtes intermédiaires de schistosomes au Cameroun	13
CHAPITRE II : CADRE GÉOGRAPHIQUE, MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	15
II.1. Cadre géographique	16
II.1. 1. Relief.....	17
II.1.2. Climat.....	18
II.1.3. Données phytogéographiques	23
II.1.4. Sols.....	25
II.1.5. Hydrographie	25
II.1.6. Zones, localités et types de sites d'étude	27
II.2. Matériel et méthodes.....	32
II.2.1. Mesure des paramètres physico-chimiques des sites de récolte	32
II.2.2. Récolte des mollusques.....	32
II.2.3. Identification des mollusques	33
II.3.4. Test d'émission cercarienne.....	33

II.3.5. Conservation des mollusques.....	34
II.3.6. Etudes morphologique et morphométrique des coquilles.....	34
II.3.7. Méthodes statistiques.....	36
CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION	41
III.1. Résultats.....	42
III.1.1. Écologie des sites de récolte.....	42
III.1.2. Faune malacologique des sites de récolte.....	43
III.1.3. Caractères morphologiques	43
III.1.4. Caractères morphométriques des coquilles	53
III.1.5. Comparaisons des variables quantitatives des coquilles entre les différentes populations.....	61
III.1.6. Infestations naturelles des mollusques	76
III. 2. Discussion.....	79
III.2.1. Caractéristiques des sites de récolte	79
III.2.2. Caractères morphologiques des coquilles	80
III.2.3. Caractères morphométriques des coquilles	82
III.2.4. Infestation naturelle des mollusques	88
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	90
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	93
ANNEXE	106

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Coquille de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	7
Figure 2. Carte du Cameroun.	16
Figure 3. Zones climatiques du Cameroun.	19
Figure 4. Carte des domaines phytogéographiques du Cameroun.	24
Figure 5. Bassins hydrographiques du Cameroun.	26
Figure 6. Carte des sites de récolte de <i>Bulinus forskalii</i> s.s. dans notre étude.	27
Figure 7. Carte des localités de récolte de <i>Bulinus senegalensis</i> dans notre étude.	28
Figure 8. Récolte des mollusques.	33
Figure 9. Test d'émission cercarienne.	34
Figure 10. Méthodes d'étude de la coquille dans le groupe <i>Bulinus forskalii</i>	35
Figure 11. Choix du nombre d'axes en ACP	39
Figure 12. Ornémentations de la coquille de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	44
Figure 13. Absence ou présence de la carène sur la coquille de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	45
Figure 14. Caractéristiques morphologiques de la coquille de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	47
Figure 15. Morphotypes des coquilles de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	48
Figure 16. Caractère diaphane de la coquille de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	49
Figure 17. Caractéristiques morphologiques de la coquille de <i>Bulinus senegalensis</i>	50
Figure 18. Morphotypes des coquilles de <i>Bulinus senegalensis</i>	51
Figure 19. Ornémentations de la coquille de <i>Bulinus senegalensis</i>	52
Figure 20. Tracé des valeurs propres des axes factoriels pour <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	65
Figure 21. Projection des variables sur les axes factoriels 1 et 2.	66
Figure 22. ACP des mensurations des différentes variables explicatives de la coquille de <i>Bulinus forskalii</i> s.s. représentées sur les axes factoriels 1 et 2.	67
Figure 23. Dendrogramme des similitudes entre les échantillons de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	68
Figure 24. Choix des axes factoriels <i>Bulinus senegalensis</i>	72
Figure 25. Projection des variables sur les axes factoriels 1 et 2.	73
Figure 26. ACP des mensurations des différentes variables explicatives de <i>Bulinus</i> <i>senegalensis</i> représentées sur les axes factoriels 1 et 2.	74
Figure 27. Dendrogramme des similitudes entre les échantillons de <i>Bulinus senegalensis</i>	75
Figure 28. Variation de la hauteur des coquilles de <i>Bulinus forskalii</i> s.s. en fonction de la latitude et de l'écologie	84

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Caractéristiques géographiques et faciès écologiques des localités de collecte des mollusques.....	31
Tableau II. Valeurs moyennes de quelques paramètres physicochimiques des sites d'échantillonnage	42
Tableau III. Différentes formes de spires et distribution des fréquences de la carène dans les populations de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.....	46
Tableau IV. Distribution des fréquences de striation dans les populations de <i>Bulinus senegalensis</i>	53
Tableau V. Mensurations des coquilles dans les populations de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.....	54
Tableau VI. Rapports allométriques des paramètres conchyliologiques de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	56
Tableau VII. Valeurs du coefficient de corrélation (r) entre la hauteur de la coquille (H) et les autres paramètres morphométriques chez <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	57
Tableau VIII. Mensurations des coquilles dans différentes populations de <i>Bulinus senegalensis</i>	58
Tableau IX. Rapports allométriques des paramètres conchyliologiques de <i>Bulinus senegalensis</i>	60
Tableau X. Valeurs du coefficient de corrélation (r) entre la hauteur de la coquille et les autres paramètres morphométriques chez <i>Bulinus senegalensis</i>	61
Tableau XI. Analyse des variances (ANOVA) des mensurations des paramètres morphométriques de <i>Bulinus forskalii</i> s.s. du Cameroun.....	62
Tableau XII. Matrice des comparaisons binaires des paramètres conchyliologiques mesurés entre les populations de <i>Bulinus forskalii</i> s.s.	64
Tableau XIII. Analyse des variances (ANOVA) des mensurations des paramètres morphométriques de <i>Bulinus senegalensis</i> du Cameroun.....	69
Tableau XIV. Matrice des comparaisons binaires des paramètres morphométriques entre les populations de <i>Bulinus senegalensis</i>	71
Tableau XV. Ressemblances entre <i>Bulinus forskalii</i> s.s. et <i>Bulinus camerunensis</i>	76
Tableau XVI. Emissions naturelles des cercaires par <i>Bulinus forskalii</i> s.s.....	77
Tableau XVII. Emissions naturelles des cercaires par <i>Bulinus senegalensis</i>	78

RÉSUMÉ

Le groupe *Bulinus forskalii* est représenté au Cameroun par trois espèces, *Bulinus camerunensis* Mandahl-Barth, 1957, *Bulinus forskalii* s.s. (Ehrenberg, 1831) et *Bulinus senegalensis* Müller, 1781. La taxinomie dans ce groupe est d'un intérêt médical et vétérinaire certain, car ses espèces servent d'hôtes intermédiaires des trématodes. Dix-neuf populations dont 12 de *Bulinus forskalii* s.s. et 7 de *Bulinus senegalensis*, réparties dans cinq zones climatiques, depuis la région forestière en climat typiquement équatorial aux steppes à épineux en climat sahélien classique, ont été étudiées à partir des observations sur la morphologie, la morphométrie et les émissions cercariennes afin d'estimer l'interaction des populations avec les écosystèmes environnementaux ainsi que leur capacité naturelle à transmettre les schistosomes. L'analyse des facteurs écologiques a permis de confirmer que *Bulinus forskalii* s.s. colonise une grande variété d'habitats, des mares temporaires aux ruisseaux permanents en passant par les canaux d'irrigation, les mayos et les lacs, donc des sites au courant d'eau faible ou nul, de turbidité généralement moyenne ou élevée, tandis que *Bulinus senegalensis* prospère essentiellement dans des sites temporaires. L'étude morphologique a révélé, chez *Bulinus forskalii* s.s., une répartition spatiale des morphotypes, tous répondant aux descriptions antérieures sur cette espèce, à l'exception de l'échantillon de la population de Marao dans lequel la hauteur de la coquille est restée inférieure au double du diamètre maximal ($H < 2h$). La forme de la spire a varié de la spire arrondie (76,47% à Sangmélina) à la spire fortement épaulée dans les populations des régions soudaniennes et soudano-sahéliennes, les coquilles de ces régions ayant présenté une carène fortement prononcée permettant de les différencier de *Bulinus senegalensis* chez qui ce caractère est absent et dont les coquilles ont plutôt présenté une striation longitudinale partielle ou totale. L'étude morphométrique, basée sur six paramètres de la coquille et sur dix rapports allométriques, a révélé un important polymorphisme interpopulationnel marqué par de profondes variations conchyliologiques intraspécifiques. Chez *Bulinus forskalii* s.s., les mesures obtenues sur les six paramètres de la coquille ont été fortement corrélées à la hauteur ($r \geq 0,66$; $p < 0,0001$), montrant que la hauteur de la coquille constitue le caractère principal auquel les autres sont subordonnés ; ainsi, il a été observé une diminution progressive de la hauteur de la coquille de Sangmélina à Kousséri, suggérant l'existence d'un morphocline probablement lié à une zonation climatique. Une proportion de 12,12% de cas de ressemblances entre les différents échantillons de *Bulinus forskalii* s.s. ont été observés aux différents paramètres, à l'exception des échantillons de Marao et Sangmélina qui n'ont présenté de ressemblance avec les autres qu'au niveau des rapports

allométriques. Il a aussi été observé entre les échantillons des populations de *Bulinus senegalensis* des variations morphométriques microgéographiques sans aucune structuration spatiale apparente. La comparaison des mensurations des échantillons des populations de *Bulinus forskalii* de Dang, Marao et Yagoua aux mensurations publiées antérieurement sur *Bulinus camerunensis* de Barombi Kotto et Debundscha a montré 20,00% de cas de similitudes entre les deux espèces. Du point de vue parasitologique, 1704 mollusques dont 1064 *Bulinus forskalii* s.s. et 640 *Bulinus senegalensis* ont été soumis au test d'émission naturelle des cercaires ; chez *Bulinus forskalii*, il a été observé 5,17% de mollusques émetteurs de furcocercaires de Schistosomatidae tandis que ce taux a été beaucoup plus faible (1,41%) chez *Bulinus senegalensis*. La présente étude a révélé un grand polymorphisme phénotypique chez *Bulinus forskalii* s.s et *Bulinus senegalensis* qui sont des hôtes intermédiaires confirmés dans la transmission des schistosomes humains ou du bétail ; des mollusques émetteurs de furcocercaires morphologiquement et éthologiquement semblables à celles du genre *Schistosoma* Weinland, 1858 ont été identifiées. Il est donc utile de poursuivre de recherches en vue de (1) l'identification spécifique de ces furcocercaires et (2) révéler la diversité génotypique au sein du groupe *Bulinus forskalii*.

Mots clés : *Bulinus forskalii*, *Bulinus senegalensis*, morphologie, morphométrie, morphocline, émission cercarienne, écologie.

ABSTRACT

Bulinus camerunensis Mandahl-Barth, 1957, *Bulinus forskalii* (Ehrenberg, 1831) and *Bulinus senegalensis* Müller, 1781 are representatives of the *Bulinus forskalii* species group in Cameroon. The taxonomy in this group is of a high medical and veterinary importance, for these species are intermediate hosts for Trematodes. Nineteen populations among which twelve of *Bulinus forskalii* s.s. and seven of *Bulinus senegalensis*, distributed in five climatic zones from the forest region in typical equatorial climate to thorny steppes in classical Sahelian climate were studied based upon observations on the morphology, morphometry and cercarial shedding in order to assess populations' interactions with the environmental ecosystems as well as their natural capacity to transmit schistosomes. An analysis of ecological factors enabled to confirm that *Bulinus forskalii* s.s. colonises a wide variety of habitats, from temporary pools to permanent streams as well as irrigation canals, 'mayos' and lakes, thus waterbodies with a slow or null velocity, generally with a moderate or high turbidity, meanwhile *Bulinus senegalensis* thrives essentially in temporary sites. The study of morphologic parameters revealed, for *Bulinus forskalii* s.s., a spatial repartition of morphotypes, all of them being in accordance with previous descriptions made on this species, except the sample from Marao in which shell height remained lower than the double of the maximal diameter ($H < 2h$). The whorl shape varied from evenly curved (76.47% in Sangmélima) to strongly shouldered in populations from the Sudanian and sudano-sahelian regions; shells from these regions showed a strong carene, permitting their clear distinction from *Bulinus senegalensis* whose shells do not display this character but presented a partial or total striation. The morphometric study, based on six shell parameters and ten allometric ratios, revealed an important interpopulational polymorphism marked by profound conchological intraspecific variations. Measures from the six shell parameters of *Bulinus forskalii* s.s. were highly correlated to shell height ($r \geq 0,66$; $p < 0,0001$), proving that shell height constitutes the dominant character to which all the others are dependent; thus, a gradual decrease of shell height has been observed from Sangmélima to Kousséri, suggesting a morphocline that could probably be due to climate stratification. A proportion of 12.12% of similitude have been observed on different parameters between different samples, except samples from Marao and Sangmélima that did show similarities with other samples only based upon allometric ratios. It was also observed, between samples of *Bulinus senegalensis* populations, microgeographic morphometric variations without any apparent spatial structuring. The comparison of measurements of *Bulinus forskalii* s.s. samples from Dang, Marao and Yagoua to earlier published measurements on *Bulinus camerunensis*

from Barombi Kotto and Debundscha showed 20.00% of similarity cases between both species. From a parasitological point of view, 1704 snails including 1064 *Bulinus forskalii* s.s. and 640 *Bulinus senegalensis* have been used for a natural cercarial shedding test; 5.17% of *Bulinus forskalii* s.s. shed Schistosomatidae furcocercaria while the shedding rate was rather low (1.41%) with *Bulinus senegalensis*. The present study revealed a great phenotypic polymorphism in *Bulinus forskalii* s.s and *Bulinus senegalensis* that are also known as intermediate hosts for human and animal schistosomes; furcocercaria, morphologically and ethologically similar to those of genus *Schistosoma* Weinland, 1858, were shed by some snails belonging to these two species. Further research is needed in order to (1) identify to the species level these furcocercaria and (2) reveal the genotypic diversity in the *Bulinus forskalii* group.

Keywords: *Bulinus forskalii*, *Bulinus senegalensis*, morphology, morphometry, morphocline, cercaria shedding, ecology.

INTRODUCTION

Premier naturaliste à initier des recherches sur les mollusques en Afrique, Adanson (1757) appela "Bulins" de petits gastéropodes dulcicoles collectés à Podor (Sénégal) parce qu'ils flottaient à la surface de l'eau accrochés à une bulle d'air. Après leur étude, Müller (cité par Fischer-Piette, 1942) les appela *Bulinus senegalensis*, espèce type du genre *Bulinus* Müller, 1781. Des descriptions de nouvelles espèces suivront mais elles étaient souvent hâtives, avec des confusions dues à des similitudes morphologiques au point que certaines espèces, après examen des différences du manteau, du pénis et de la radula, furent classées dans le genre *Physa* Draparnaud, 1801 (Wright, 1971).

La taxinomie dans ces deux genres est d'un intérêt médical et vétérinaire certain, car leurs espèces servent comme hôtes intermédiaires des trématodes. Ainsi *Schistosoma haematobium* (Bilharz, 1852), *Schistosoma curasoni* Brumpt, 1931, *Schistosoma margrebowiei* Le Roux, 1933, *Schistosoma leiperi* Le Roux, 1955, *Schistosoma intercalatum* Fisher, 1934, *Schistosoma mattheii* Veglia et Le Roux, 1929, *Schistosoma bovis* (Sonsino, 1876), *Schistosoma guineensis* Pagès, Jourdane, Southgate & Tchuem Tchuente, 2003 et *Echinostoma* spp. sont transmis par des espèces du genre *Bulinus* (Loker *et al.*, 1981 ; Brown, 1994). *Physa acuta* Draparnaud, 1805 avait été infecté expérimentalement par *Schistosoma haematobium* (Magzoub & Kasim, 1980), tandis que Christensen *et al.* (1980) l'avaient observé hautement compatible avec *Echinostoma liei* Jeyarasasingam, Heyneman, Lim & Mansour, 1972.

À partir de la forme et de la sculpture de la coquille, associées à l'anatomie, Mandahl-Barth (1957) avait réparti les espèces du genre *Bulinus* en quatre groupes : le groupe Africana (sous-genre *Physopsis* Krauss, 1848), le groupe Tropicus, le groupe Truncatus et le groupe Forskalii initialement désigné Pyrgophysa (Mandahl-Barth, 1958). Suite à la description de nouvelles espèces, cette classification a été révisée par Brown (1994) ; ce dernier a réparti les trente-sept (37) espèces alors connues dans le genre *Bulinus* en quatre groupes : (1) le groupe *Bulinus africanus* (dix espèces), (2) le groupe *Bulinus truncatus/tropicus* (quatorze espèces), (3) le groupe *Bulinus reticulatus* (deux espèces), et (4) le groupe *Bulinus forskalii* (onze espèces).

Le groupe *Bulinus africanus* est représenté au Cameroun par l'espèce *Bulinus globosus* (Morelet, 1866). Des sites de récolte de ce mollusque ont été identifiés dans les régions soudano-sahéliennes, avec quelques sites isolés à Bafia, Yaoundé et Bélabo dans le plateau sud-camerounais en région subéquatoriale (Samé Ekobo, 1984 ; Greer *et al.*, 1990).

Le complexe *Bulinus truncatus / tropicus* inclut les groupes *Bulinus truncatus* et *Bulinus tropicus*. Le groupe *Bulinus truncatus*, formellement caractérisé par une garniture chromosomique tétraploïde, a montré des populations dans des sites des régions sahéliennes, soudano-sahéliennes, et soudaniennes, jusqu'aux prolongements méridionaux du plateau de l'Adamaoua, avec aussi des sites de récolte à Bertoua dans les savanes guinéo-soudaniennes du bassin de la Kadeï. De nombreux sites de récolte sont également connus dans la chaîne montagneuse de l'Ouest, de Barombi Kotto à la jonction avec le plateau de l'Adamaoua (Greer *et al.*, 1990). Toutefois, ce complexe s'est révélé très polymorphe ; certaines de ses populations sont tétraploïdes, aux profils enzymatiques différents du profil typique de *Bulinus truncatus* (Audouin, 1827) à Ngaoundéré, Goundjel, Meïganga, Manengouba. D'autres de ses populations sont diploïdes dans les sites des hauts plateaux Bamoun et de la plaine de Ndop (Mimpfoundi & Greer, 1990a ; Mimpfoundi & Ndassa, 1999 ; Ndassa, 2008). Le statut taxinomique de ces populations reste encore à préciser ; toutefois ces dernières représenteraient celles du complexe *tropicus / natalensis* (Mimpfoundi & Ndassa, 1999 ; Ndassa, 2008).

Le groupe *Bulinus reticulatus* comprend deux espèces : *Bulinus reticulatus* Mandahl-Barth, 1954 retrouvé en Afrique australe et *Bulinus wrighti* Mandahl-Barth, 1965 présent uniquement dans la péninsule arabique (Brown, 1994).

Le groupe *Bulinus forskalii* est représenté au Cameroun par trois espèces : *Bulinus camerunensis* Mandahl-Barth, 1957, *Bulinus forskalii* s.s. (Ehrenberg, 1831) et *Bulinus senegalensis* Müller, 1781. *Bulinus camerunensis* est endémique dans deux lacs de cratère de la région du Mont Cameroun : Barombi Kotto, localité type, et Debundscha (Wright, 1965 ; Green *et al.*, 1974). *Bulinus senegalensis* est présent exclusivement dans les sites des régions soudaniennes et soudano-sahéliennes (Greer *et al.*, 1990 ; Mimpfoundi & Sloomweg, 1991). *Bulinus forskalii* s.s. a une répartition panafricaine, depuis l'Égypte jusqu'en Afrique du Sud et à Madagascar (Brown, 1994). Au Cameroun, ses sites de récolte vont de Kousséri dans les steppes à épineux et les prairies périodiquement inondées, en climat sahélien, à Ebolowa et Sangmélina (Greer *et al.*, 1990 ; Mimpfoundi & Greer, 1990b) en climat équatorial de style continental, de faciès de dégradation prononcée des forêts toujours vertes (Letouzey, 1985). Ces populations sont donc adaptées aux multiples écosystèmes tropicaux ; *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus senegalensis* sont morphologiquement semblables, et constituent souvent des populations mixtes dans leur aire de répartition commune (Mimpfoundi & Greer, 1989).

Sur le plan de la parasitologie, ces trois espèces de mollusques du groupe *Bulinus forskalii* sont des hôtes intermédiaires de schistosomes humains ou animaux (Brown *et al.*, 1984 ; Betterton *et al.*, 1988 ; Greer *et al.*, 1990 ; Simarro *et al.*, 1990). Au Cameroun, *Bulinus camerunensis* transmet la bilharziose urinaire à *Schistosoma haematobium* à Barombi Kotto (Duke & Moore, 1976) ; *Bulinus senegalensis* transmet ce même parasite et *Schistosoma bovis* Sonsino, 1876 dans les régions soudano-sahéliennes (Sonsino, 1876 ; Southgate & Knowles, 1975 a et b ; Wibaux-Charlois *et al.*, 1982 ; Samé Ekobo, 1984 ; Greer *et al.*, 1990) ; *Bulinus forskalii* s.s. transmet *Schistosoma guineensis* (Pagès *et al.*, 2003) anciennement désigné *Schistosoma intercalatum* (Wright *et al.*, 1972 ; Greer *et al.*, 1990) ou son hybride avec *Schistosoma haematobium* (Southgate *et al.*, 1976 ; Ratard & Greer, 1991).

Nous avons choisi de focaliser nos recherches sur *Bulinus forskalii* s.s. en raison de sa répartition panafricaine favorable à un polymorphisme lié à cette diversité des faciès écologiques. De nombreux travaux de biochimie sur les isoenzymes ont permis de différencier les populations de *Bulinus forskalii* s.s. des régions équatoriales et subéquatoriales de celles des régions soudaniennes et soudano-sahéliennes ; ils ont permis de reconnaître des types liés au climat (Jelnes, 1980, 1986 ; Dogba & Jelnes, 1985 ; Mimpfoundi & Greer, 1990b ; Mimpfoundi & Sloomweg, 1991). Ces travaux ont été suivis par des approches de biologie moléculaire utilisant la "polymerase chain reaction" (PCR) supposées mieux indiquée pour révéler la complexité génétique des populations en relation avec l'écologie, et leur susceptibilité avec les schistosomes (Brown, 1996), cette susceptibilité pouvant varier d'une population à l'autre dans l'aire de répartition de la même espèce (Jones *et al.*, 1999). Toutefois, *Bulinus forskalii* s.s. de Kumba et *Bulinus camerunensis* de Barombi Kotto, bien que morphologiquement distincts, n'ont pas présenté des différences appréciables sur le plan de la biochimie (Mimpfoundi & Greer, 1989 ; Mimpfoundi, 1990 ; Mimpfoundi & Greer, 1990b) ni sur le plan de la biologie moléculaire ; *Bulinus camerunensis* a alors été considéré comme ayant évolué "in situ" à partir d'un isolement reproductif (Jones *et al.*, 1999 ; 2001). Des travaux basés sur une analyse biométrique de données morphométriques avaient déjà permis à Kristensen (1986) puis à Kristensen *et al.* (1987) de différencier des espèces dans le groupe *Bulinus africanus* en Afrique du Sud et de l'Est. Aussi, comme l'avait par la suite noté Brown (1996), quelle que soit la précision de ces nouvelles techniques d'identification, il est important de rappeler que le système traditionnel de classification des bulins est basé sur la morphologie. Sur le terrain, Mimpfoundi & Greer (1989) avaient déjà constaté toute absence de données morphométriques malgré la grande variation observée sur la coquille de *Bulinus forskalii* s.s. au Cameroun, depuis

les spires hautes des populations des régions équatoriales aux petites coquilles des régions subsahariennes (Samé Ekobo, 1984).

L'objectif principal de ce travail de recherche vise donc à étudier les caractères morphologiques des coquilles des espèces du groupe *Bulinus forskalii* du Cameroun pour une meilleure caractérisation de leurs populations et une évaluation de leur rôle dans la transmission des Trématodes.

Les objectifs spécifiques portent sur trois orientations :

1°- étudier les caractéristiques morphologiques et morphométriques des populations de *Bulinus forskalii* s.s. et celles de *Bulinus senegalensis*, en relation avec l'écologie de leurs sites de récolte ;

2°- comparer les données morphométriques de certaines populations de *Bulinus forskalii* s.s. aux coquilles apparemment plus petites avec les mensurations obtenues par Mimpfoundi *et al.* (1999) sur *Bulinus camerunensis* de Barombi Kotto et Debundscha ;

3°- tester les émissions naturelles des cercaires de Schistosomatidae par ces espèces de mollusques en vue d'évaluer leur rôle d'hôtes intermédiaires.

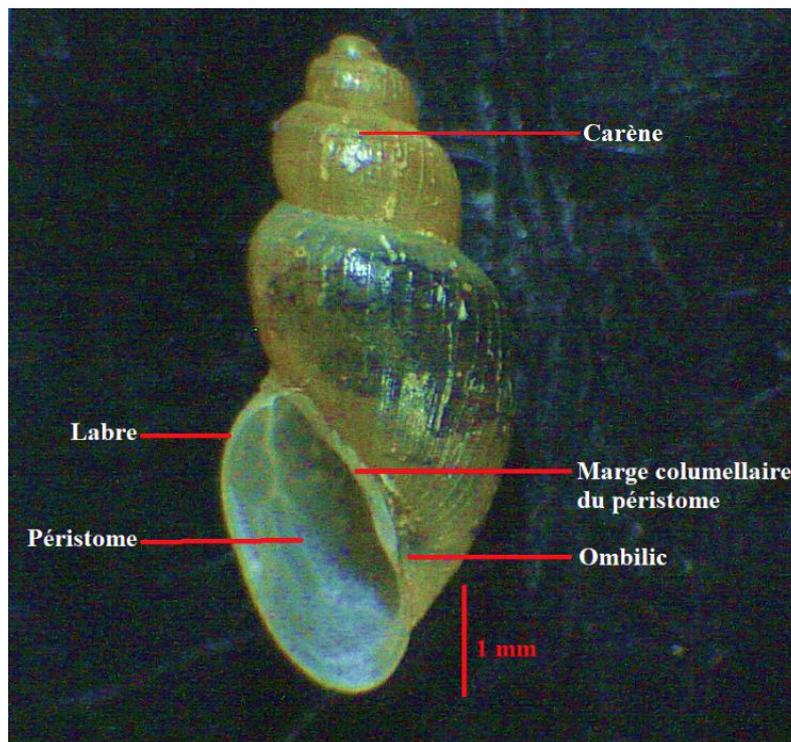
Notre mémoire comprend, outre cette introduction, un chapitre sur la revue de la littérature, un chapitre sur le matériel et les méthodes incluant des données sur le milieu naturel, un chapitre sur les résultats et leur discussion, une conclusion, des perspectives et les références bibliographiques évoquées dans nos travaux.

CHAPITRE I : REVUE DE LA LITTÉRATURE

I.1. Caractéristiques taxinomiques des bulins du groupe *Bulinus forskalii* en Afrique

Dans le groupe *Bulinus forskalii*, la coquille est plus effilée que celle des bulins des autres groupes, la spire pouvant être distinctement plus grande que l'ouverture (Brown, 1980 ; 1994). Les coquilles présentent un épaulement et une carène dans certaines espèces ; des stries régulièrement espacées peuvent aussi être observées. Ce groupe est constitué de onze (11) espèces : *Bulinus barthi*, Jelnes 1979, *Bulinus bavayi* (Dautzenberg, 1894), *Bulinus beccarii* (Paladilhle, 1872), *Bulinus browni* Jelnes, 1979, *Bulinus camerunensis* Mandahl-Barth, 1957, *Bulinus canescens* (Morelet, 1868), *Bulinus cernicus* (Morelet, 1867), *Bulinus crytallynus* (Morelet, 1868), *Bulinus forskalii* s.s. (Ehrenberg, 1831), *Bulinus scalaris* (Dunker, 1845) et *Bulinus senegalensis* Müller, 1781.

Dans ce groupe l'enroulement de la coquille présente plusieurs tours de spire séparés par une ligne de suture ; l'ouverture du dernier tour est bordée par une lèvre connue sous le nom de labre (Figure 1).



(photo Basga, 2020)

Figure 1. Coquille de *Bulinus forskalii* s.s..

Lorsque le rapport entre la hauteur de la coquille et le diamètre maximal (H/h) est supérieur ou égal à deux (2,0), la coquille est dite turriculée, la spire ayant une forme conique haute ; les coquilles dont le rapport H/h est inférieur à deux (2,0) sont dites globuleuses coniques (Samé Ekobo, 1984). Ainsi, de nombreuses variations ont été observées dans la forme de la coquille ; elles ont même conduit à l'identification de *Pyrgophysa turriculata* Morelet, 1868 à Lukala, *Physa capillacea* Morelet, 1868 à Libongo en Angola, et de nombreuses autres espèces en Egypte, au Tchad et à Madagascar (Mandahl-Barth, 1957). Toutes ces espèces ont ultérieurement été confirmées comme des morphotypes de l'espèce *Bulinus forskalii* (Brown, 1980 ; 1994).

Cependant, les données morphologiques, même celles associées aux mensurations de la coquille, ont souvent été déclarées insuffisantes pour une bonne identification spécifique au sein du genre *Bulinus* (Show & Brown, 1986 ; Kristensen, 1992 ; Mukaratirwa *et al.*, 1998). Certaines espèces morphologiquement semblables, comme *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus senegalensis*, sont quelquefois difficiles à distinguer, notamment dans les populations mixtes (Goll, 1981 ; Mimpfoundi & Greer, 1990b). De plus, Bertness (1980) avait montré que la coquille des mollusques est sujette à des modifications liées aux conditions de l'habitat, les variations des facteurs physiques pouvant affecter les fréquences des allèles dans l'espace et dans le temps, induisant un polymorphisme non négligeable (Powers & Place, 1978).

Toutes ces observations ont orienté les recherches dans le groupe *Bulinus forskalii* vers les techniques biochimiques (Jelnes, 1979 ; 1980 ; 1986) qui ont permis l'identification de *Bulinus barthi* Jelnes, 1979 à Mariakani et *Bulinus browni* Jelnes, 1979 à Obtuso, deux localités du Kenya, et la localisation des populations de *Bulinus senegalensis* dans de nombreux sites au Cameroun (Mimpfoundi & Greer, 1989 ; Mimpfoundi & Sloomweg, 1991). Néanmoins, ces mêmes techniques biochimiques n'ont pas permis de caractériser *Bulinus camerunensis*, une autre espèce du groupe *Bulinus forskalii* ; c'est pourtant sur la base d'une analyse semblable que Jelnes (1986 ; 1991) avait placé en synonymie *Bulinus globosus* (Morelet, 1866) et *Bulinus jousseaumei* (Dautzenberg, 1890), deux espèces du groupe *Bulinus africanus* (Brown, 1980 ; 1994). Cette décision n'avait pas obtenu l'assentiment de Kristensen & Christensen (1989 ; 1991) qui, sur la base de l'analyse des données morphométriques, avaient clairement distingué les deux espèces, et conclu qu'une absence de différence dans les isoenzymes n'était pas une bonne raison pour méconnaître des différences morphologiques évidentes.

Toutefois, très peu de variations génétiques ont été révélées par les méthodes biochimiques (Wright & Ross, 1966 ; Jernes, 1980 et 1986 ; Dogba & Jernes, 1985 ; Mimpfoundi & Greer, 1990b ; Mimpfoundi & Sloomweg, 1991) tout autant qu'avec les méthodes de biologie moléculaire des ADN polymorphes (Langand *et al.*, 1993 ; Jones *et al.*, 1999 ; 2001). Ce constat a été fait chez les autres espèces hermaphrodites du genre *Bulinus* (Gow *et al.*, 2001, 2004). Cette situation avait conduit Gow *et al.* (2001) à développer la technique des marqueurs microsatellites hautement polymorphes (highly polymorphic microsatellites markers) pour étudier la structure génétique des populations ainsi que l'influence des forces évolutives en présence. Aucune population n'avait été monomorphe à tous les loci et les échantillons avaient indiqué un isolement significatif par la distance, certaines populations hébergeant des migrants issus des populations avoisinantes. Toutefois, d'autres populations n'avaient servi ni pour la migration, ni pour l'accueil des migrants (Gow *et al.*, 2004). Ce haut niveau de diversité génétique est soutenu par la préférence de la reproduction uniparentale (Whittlock & Mc Cauley, 1990) essentiellement marquée par un déficit en hétérozygotes (Mimpfoundi & Greer, 1990b ; Gow *et al.*, 2004). La dispersion des sites et leur caractère temporaire obligeaient les populations à des réductions drastiques des effectifs (effet bottleneck), certains modèles d'extirpation et de recolonisation des sites pouvant exacerber la différenciation des populations (Wade & Mc Cauley, 1988), et la reconstitution des populations de *Bulinus forskalii* s.s. se faisant rapidement après de sévères réductions subies (Fashuyi, 1981 ; Goll, 1981 ; Ngonseu *et al.*, 1992). Aucune discussion n'avait été menée sur la caractérisation des espèces et, au Cameroun, les populations étaient divisées en deux groupes, un groupe du Nord et un groupe du Sud.

I.2. Premières découvertes sur le groupe *Bulinus forskalii* au Cameroun

Les recherches sur les bulins du groupe *Bulinus forskalii* au Cameroun avaient été initiées par Zahra (1953) avec la récolte de *Pyrgophysa forskalii* Ehrenberg, 1831 dans le village Barombi Mbo, dans la région de Kumba (Sud-Ouest), suivie de la description de *Bulinus camerunensis* Mandahl-Barth, 1957 récolté à Barombi Kotto, un lac de cratère de la région de Kumba. *Bulinus camerunensis* avait été rapporté par la suite par Green *et al.* (1974) dans le lac Debundscha, un autre lac de cratère situé dans le village éponyme, tandis que la première récolte de *Bulinus senegalensis* avait été effectuée par Samé Ekobo (1984) à Tala-Mokolo dans les Monts Mandara de la région de l'Extrême-Nord. Sur la base des études sur l'ADN mitochondrial, Jones *et al.* (2001) ont daté l'expansion des espèces du groupe *Bulinus forskalii*

en Afrique avant le Pliocène (c'est-à-dire environ 5,332 à 2,588 millions d'années avant Jésus Christ ; fin de l'ère Tertiaire).

La première carte de répartition spatiale des mollusques hôtes intermédiaires des schistosomes au Cameroun avait été établie par Samé Ekobo (1984) ; elle a été complétée par Greer *et al.* (1990) qui avaient récolté d'une part *Bulinus forskalii* s.s. dans 98 sites de 68 localités équitablement réparties entre les régions soudaniennes, soudano-sahéliennes et équatoriales, dans des habitats temporaires ou permanents et, d'autre part, *Bulinus senegalensis* dans 54 sites de 50 localités dans les mares, les marais et les mayos (cours d'eau temporaires) du climat soudanien au nord du 9^{ème} parallèle-Nord. Dans ces études, l'identification des mollusques avait été initiée essentiellement sur la base des critères conchyliologiques et anatomiques, jugés par la suite quelque peu variables en fonction de l'ontogénie et de l'écologie (Jelnes, 1980). Cette critique avait amené à l'utilisation des méthodes biochimiques.

Ainsi, poursuivant leurs études sur l'analyse de la structure génétique des populations de mollusques hôtes intermédiaires des bilharzioses, basée sur l'électrophorèse des isoenzymes sur gel d'amidon, Mimpfoundi & Greer (1989), Mimpfoundi (1990), et Mimpfoundi & Slootweg (1991) avaient étendu la répartition géographique de *Bulinus senegalensis* à toute la région soudano-sahélienne, et mis en évidence la présence d'un variant génétique au locus hydroxybutyrate déshydrogénase (HBDH) dans les populations de *Bulinus forskalii* s.s. des bordures orientales de la plaine du Diamaré et celles des yaérés de la région de Yagoua ; ce locus était jusque-là considéré, dans cette espèce, comme strictement monomorphe (Jelnes, 1986). La répartition spatiale de *Bulinus senegalensis* a par la suite été étendue à la région soudanienne, jusqu'à la vallée supérieure de la Bénoué à Lagdo par Mimpfoundi & Slootweg (1991).

I.3. Conchyliologie et morphologie : sources de caractères taxinomiques dans le groupe *Bulinus forskalii*

Dans le groupe *Bulinus forskalii*, la coquille (Figure 1) est turriculée, avec une hauteur (H) supérieure ou égale au double du diamètre maximal (h), une spire conique haute enroulée en plusieurs tours séparés par une ligne de suture et elle s'ouvre par un péristome ovalaire sénestre bordé par un labre (Brown, 1994).

Les mensurations effectuées sur les coquilles adultes ont été à la base des études sur la taxinomie des mollusques dulcicoles (Mandahl-Barth, 1957 ; 1958 ; 1965 ; Brown, 1980 ; 1994) ; toutefois, la standardisation des données conchyliologiques n'a pas été facile, la

croissance de la coquille se poursuivant toute la vie du mollusque sans aucun signe distinctif de maturité (Brown, 1994). Beaucoup de différences morphologiques peuvent être observées entre les populations de *Bulinus forskalii* s.s. au Cameroun, quelques-unes ayant des coquilles adultes plus petites que celles de *Bulinus camerunensis* de Debundscha (Mimpfoundi, communication personnelle).

L'analyse quantitative des variations dans la morphologie des coquilles de bulins avait été initiée par Wright (1957) ; par la suite, Brown *et al.* (1971 a ; b) avaient introduit dans cette étude un système de "scores" pour évaluer la variation de l'ombilic, de la costulation et de la columelle. Dans la continuité, des analyses multivariées (analyses en composantes principales) ont été effectuées (Kristensen & Christensen, 1989 ; Brown *et al.*, 1991), puis Brown (1991) a utilisé des ratios dans la détermination du type de croissance dans les populations de *Bulinus forskalii* s.s..

Au Cameroun, jusqu'à la décennie 1990, les seules études rapportées sur les bulins du groupe *Bulinus forskalii* ont été effectuées par Brown (1991), qui a comparé les mensurations des coquilles des échantillons des populations de Loum et Penja à celles d'un échantillon de *Bulinus camerunensis* de Barombi Kotto. Ultérieurement, Mimpfoundi *et al.* (1999), après avoir comparé les mensurations des coquilles de *Bulinus camerunensis* de Barombi Kotto et de Debundscha, ont confirmé les observations de Green *et al.* (1974), qui ont rapporté que les dimensions de l'échantillon de Barombi Kotto sont une fois et demi plus grandes que celles de l'échantillon de Debundscha. Ayant constaté qu'en dehors de ces populations de Loum et Penja, aucune autre étude n'a été publiée sur les caractéristiques morphologiques et morphométriques de *Bulinus forskalii* s.s. au Cameroun, Mimpfoundi *et al.* (1999) ont suggéré une analyse des populations, depuis les sites des climats équatoriaux jusqu'aux sites des domaines soudano-sahéliens, pour une meilleure compréhension de leurs variations intra- et interpopulationnelles en relation avec la stratification du climat et des écosystèmes.

I.4. Répartition géographique des espèces du groupe *Bulinus forskalii* au Cameroun

Rappelons que la première carte de répartition spatiale des espèces du groupe *Bulinus forskalii* avait été établie par Samé Ekobo (1984) ; cet auteur avait récolté *Bulinus forskalii* s.s. dans toutes les régions du Cameroun à l'exception de l'Ouest et du Nord-Ouest. Cette répartition a été confirmée ultérieurement par Greer *et al.* (1990) qui ont identifié cette espèce dans 98 sites de récolte distribués dans ces mêmes régions dont 38 dans les régions tropicales

et 60 dans les régions équatoriales et subéquatoriales. Tandis que Samé Ekobo (1984) n'avait identifié *Bulinus senegalensis* qu'à Tala-Mokolo dans les Monts Mandara, Greer *et al.* (1990) puis Mimpfoundi & Sloomweg (1991) ont étendu sa répartition spatiale à toutes les régions de l'Extrême-Nord et du Nord, jusqu'à la vallée supérieure de la Bénoué à Lagdo. Quant à *Bulinus camerunensis*, sa répartition géographique connue est restée limitée à Barombi Kotto et à Debundscha ; ces deux lacs de cratère auraient résulté des violentes explosions gazeuses magmatophréatiques suivies de coulées basaltiques ayant constitué le cratère interne du lac Debundscha d'une part et l'île de Barombi Kotto d'autre part (Green *et al.*, 1974 ; Regnoul, 1986).

I.5. Écologie des sites de récolte

Les espèces du groupe *Bulinus forskalii* s'adaptent, chacune, à différents types de collections d'eau douce naturelles ou artificielles, temporaires ou permanentes tels que les mares, mayos, puits, rizières, ruisseaux, lacs... *Bulinus camerunensis* n'est limitée qu'à deux (2) lacs volcaniques et, par conséquent, est une espèce vulnérable menacée d'extinction (Brown & Kristensen, 1993). Dans le domaine soudanien et le domaine soudano-sahélien, *Bulinus forskalii* s.s. est surtout présent dans les mares temporaires et les mayos, tandis que dans les régions subéquatoriales et équatoriales, on le récolte davantage dans les rivières et les ruisseaux à débit lent, ainsi que dans les lacs (Samé-Ekobo, 1984 ; Greer *et al.*, 1990). Quant à *Bulinus senegalensis*, ses populations sont surtout présentes pendant la saison des pluies dans les mares temporaires, les mayos et certains ruisseaux des régions soudano-sahélienne et soudanienne (Greer *et al.*, 1990) ; elles peuvent y survivre à une période de sécheresse de six (6) à sept (7) mois (Smithers, 1956). *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus senegalensis* sont considérés comme aptes à l'estivation ; pendant la saison sèche ils peuvent survivre dans des sites où aucun point d'eau potentiel n'est reconnaissable et où toute végétation aquatique ne peut se développer (Brown, 1994). En Gambie, Webbe (1962) puis Goll & Wilkins (1984) avaient observé que *Bulinus senegalensis* estivait sur les berges des mares temporaires à l'abri des averses isolées du début de la saison des pluies, pour n'émerger que lorsque la mare était pleine. Les facteurs déclencheurs de cette estivation semblent être la hausse des températures et l'accroissement de la salinité de l'eau due à l'évaporation (Betterton *et al.*, 1983) ; les mollusques peuvent alors s'enfoncer dans le substratum jusqu'à quelques centimètres (Diaw *et al.*, 1984). En Gambie, Goll & Wilkins (1984) avaient observé que les mollusques ayant émergé des mares de latérite à la fin de la période d'estivation étaient relativement petits (3,00 mm de haut environ), tandis que Diaw *et al.* (1989) les observaient plutôt de taille moyenne ou adulte.

La végétation aquatique des sites en régions équatoriale et subéquatoriale est représentée par les genres *Acroceras*, *Mariscus*, *Pistia*, *Cyperus*, *Hydrolea*, *Nymphaea*, *Ludwigia*, *Eichinocloa*, *Eichornia*... et de nombreuses algues... En régions tropicales et soudano-sahéliennes, on observe les genres *Cyperus*, *Ipomoea*, *Kyllinga*, *Fimbristylis*, ou les genres *Eichinocloa*, *Ludwigia*, *Hydrolea*, *Scleria*, *Pycreus*, *Rhynchospora* dans les rizières, les marais, les zones inondables, les ruisseaux peu profonds (Okezie Akobundu & Agyakwa, 1987).

I.6. Espèces du groupe *Bulinus forskalii* hôtes intermédiaires de schistosomes au Cameroun

Les mollusques du groupe *Bulinus forskalii* sont des hôtes intermédiaires dans la transmission des bilharzioses à *Schistosoma intercalatum* Fisher, 1934, *Schistosoma curassoni* Brumpt, 1931 et *Schistosoma margrebowiei* Le Roux, 1933 pour *Bulinus forskalii* s.s., *Schistosoma haematobium* (Bilharz, 1852) et *Schistosoma bovis* (Sonsino, 1876) pour *Bulinus senegalensis* (Rollinson & Simpson, 1987). *Bulinus forskalii* s.s. a aussi été impliqué dans la transmission d'un hybride entre *Schistosoma haematobium* et *Schistosoma intercalatum* (aujourd'hui *Schistosoma guineensis*) à Loum (Southgate *et al.*, 1976) et à Kinding Ndjabi (Ratard & Greer, 1991). *Bulinus camerunensis* quant à lui a été reconnu comme hôte intermédiaire de *Schistosoma haematobium* à Barombi Kotto (Duke & Moore, 1976).

Les enquêtes parasitologiques menées par Gaud (1955), Azevedo & Fraside (1956), Deschiens & Delas (1968), Samé-Ekobo (1984), Ratard *et al.* (1990) et Tchuem Tchuente *et al.* (2012 ; 2013) ont montré la distribution des bilharzioses au Cameroun. L'enquête menée à l'échelle nationale par Ratard *et al.* (1990) a montré que la bilharziose urinaire à *Schistosoma haematobium* sévit davantage dans les domaines soudano-sahéliens et soudaniens. Ces auteurs ont observé des prévalences de 35,2% dans la région de l'Extrême-Nord (domaine soudano-sahélien) et de 27,0% dans la région du Nord (domaine soudanien) où *Bulinus senegalensis* est impliqué dans la transmission. Ces prévalences étaient très faibles dans toutes les autres régions (Ratard *et al.*, 1990). Quant à *Schistosoma intercalatum* (*Schistosoma guineensis*) et son hybride avec *Schistosoma haematobium* qui sont transmis essentiellement par *Bulinus forskalii* s.s., seule la région du Littoral à Edéa et la région du Centre à Eséka ont montré des prévalences appréciables soit respectivement 30,4% et 13,6%. De nombreux autres foyers disséminés dans ces deux régions ont présenté des prévalences faibles, généralement inférieures à 10%. Ratard *et al.* (1990) avaient souvent observé des œufs à éperon terminal dans les selles des malades dans les domaines soudano-sahéliens et soudaniens ; malgré la présence des bulins du groupe

Bulinus forskalii dans ces régions, ils les ont considérés comme des œufs de *Schistosoma haematobium* à localisation erratique suite à la contamination des selles par les urines.

**CHAPITRE II : CADRE GÉOGRAPHIQUE,
MATÉRIEL ET MÉTHODES**

II.1. Cadre géographique

Le Cameroun est situé en zone de transition entre l’Afrique Centrale et l’Afrique de l’Ouest ; il s’étire entre 1°40’ et 13°05’ de latitude Nord, et entre 8°30’ et 16°10’ de longitude Est. De forme triangulaire, il couvre une superficie de 475.442 km² et s’étend sur une distance d’environ 1.500 km partant de la Baie de Biafra (Océan Atlantique) au Lac Tchad, balayant à la fois la zone équatoriale et la zone tropicale (Figure 2). Le pays s’ouvre sur l’Océan Atlantique par une façade de plus de 400 km (Mélingui *et al.*, 1983 ; Regnault, 1986).

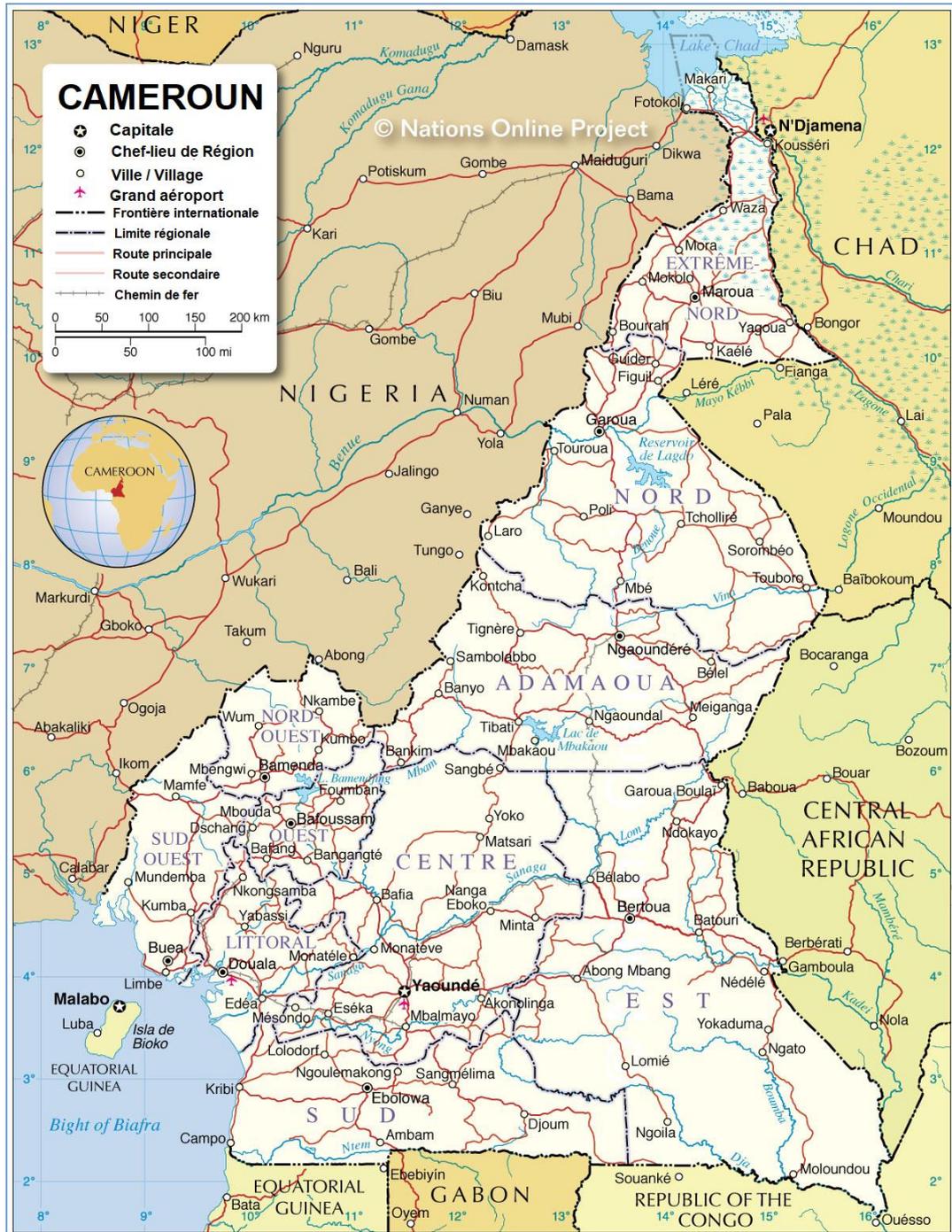


Figure 2. Carte du Cameroun.

Source : Nations online project

Dans notre présentation sommaire des données sur le milieu naturel camerounais, seuls sont pris en considération les éléments majeurs structuraux, climatiques et hydrographiques susceptibles d'influencer le développement des écosystèmes aquatiques.

II.1. 1. Relief

Le relief du Cameroun peut être réparti en cinq grandes régions naturelles.

II.1.1.1. Basses terres côtières

Bordant l'Océan Atlantique sur environ 300 km, les basses terres côtières s'étendent de l'embouchure de l'Akpa Yafé marquant la frontière avec le Nigeria jusqu'au fleuve Ntem au sud, et comprennent deux ensembles : la côte basse comprenant le bassin du Ndiou et le bassin de Douala, et les basses terres du sud de Douala à Kribi. La dépression de Mamfé constitue une zone à part, entourée par une série de montagnes ouverte à l'ouest où elle se prolonge jusqu'au Nigeria (Neba Suh, 1987). Cette plaine côtière est marquée par l'appareil volcanique du Mont Cameroun dont le point culminant est situé sur le Fako à 4.100 m (Ndibewu, 2000). La côte rocheuse comprend deux parties : la première qui s'étend de Bimbria à Idenau est caractérisée par des îles volcaniques, des baies, des caps, des falaises et des îles rocheuses ; la seconde partie longe la région de Kribi et est constituée de schistes cristallins dénudés (Mélingui *et al.*, 1983).

II.1.1.2. Plateau sud-camerounais

Encore appelé plateau central et recouvrant une superficie d'environ 225.100 km², le plateau sud-camerounais est formé d'un enchaînement monotone de collines dont l'altitude moyenne est de 600 m, avec quelques dômes rocheux dont les Monts Mbam Minkom (1.295 m) dans la région de Yaoundé, le massif Ntem dans la région d'Ebolowa et la chaîne de Ngovayang allant de la région d'Eséka à Bipindi (1.043 m). Ce plateau descend vers la plaine côtière par une pente abrupte. Le secteur oriental est une pénéplaine, tandis que le secteur septentrional alterne entre dépressions et massifs granitiques marquant la transition avec le plateau de l'Adamaoua (Mélingui *et al.*, 1983).

II.1.1.3. Hautes terres de l'Ouest

Constitués de granites et de gneiss précambriens recouverts en surface de roches basaltiques, ces massifs montagneux s'étendent sur une ligne de fracture orientée SW-NE où on distingue, du sud vers le nord, les îles d'Annobon, São Tomé, Santa Isabel localisées dans l'Océan Atlantique, le Mont Cameroun (4.100 m), le Mont Koupé (2.064 m), le Mont Nlonako (1.825 m), le Mont Manengouba (2.411 m), le Mont Bamboutos (2.740 m), le Mont Oku (3.008

m), le Mont Nkogam (2.263 m) et le Mont Mbam (2.335 m). Certains de ces sommets hébergent des lacs de cratère. On observe également dans les hauts plateaux Bamilékés et les hauts plateaux Bamouns de nombreux lacs d'origine volcanique (Regnault, 1986).

II.1.1.4. Plateau de l'Adamaoua

Disposé en forme de croissant et prenant le pays en écharpe, le plateau de l'Adamaoua est un ensemble de hautes terres granitiques recouvertes en surface d'épaisses coulées basaltiques émanant d'effusions volcaniques ayant engendré un certain nombre de pics dont le Tchabal Ngangha (1.923 m), le Tchabal Mbabo (2.460 m), le Tchabal Gangdaba (1.960 m) et les Monts Mambila (2.418 m). Au nord, il descend brutalement dans le bassin de la Bénoué, s'étend graduellement dans sa partie méridionale vers le plateau sud-camerounais et constitue le principal château d'eau du Cameroun (Neba Suh, 1987) ; il comprend aussi quelques lacs volcaniques : Lac Tyson, Ngaoundaba... (Regnault, 1986).

II.1.1.5. Plaine septentrionale

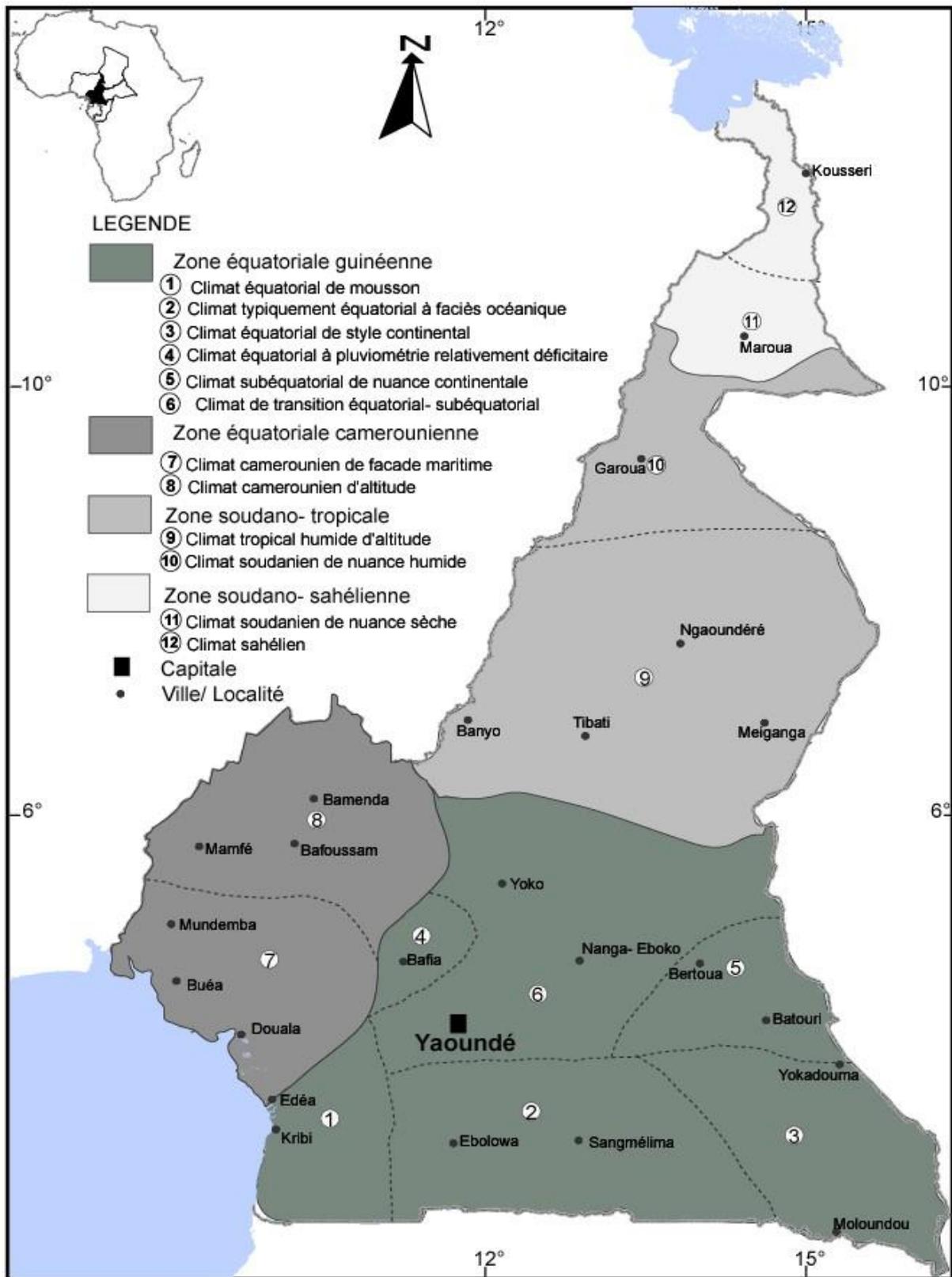
Cette plaine peut être divisée en deux : la dépression de la Bénoué et la plaine du Tchad.

La dépression de la Bénoué est localisée au nord du piedmont septentrional du plateau de l'Adamaoua ; elle est constituée au centre par les larges vallées du Mayo Kébi, et elle est séparée de la plaine du Tchad et de la vallée du Logone par un bombement parsemé de quelques pics dont le Mindif (769 m), le Rhoumsiki (1.224 m), le Peske Bori (1.195 m) qui annoncent les Monts Mandara.

Le Cameroun partage la plaine du Tchad, inondable par endroits, avec le Tchad, le Niger et le Nigeria. La portion camerounaise de cette plaine est limitée au sud par le bombement de Kaélé, au sud-ouest par les Monts Mandara (1.442 m), et elle descend en pente douce au nord en direction du Lac Tchad et à l'est vers la vallée du Logone (Regnault, 1986).

II.1.2. Climat

Le climat du Cameroun est le résultat d'une combinaison entre l'influence de la latitude, de l'altitude et de sa position au fond du Golfe de Guinée (Suchel, 1987). L'extension du Cameroun entre le 2^{ème} et le 13^{ème} degrés de latitude Nord lui confère toutes les caractéristiques des climats intertropicaux qui sont généralement chauds, humides et secs (Neba Suh, 1987). Dans l'ensemble, le Cameroun présente une gamme de climats à organisation zonale du domaine équatorial au sud au domaine tropical au nord, avec des aires de transition plus ou moins nettes (Figure 3). Le traité qui suit est essentiellement extrait de Suchel (1987).



Source : Suchel (1987)

Figure 3. Zones climatiques du Cameroun.

II.1.2.1. Domaine subéquatorial et équatorial

Ce domaine couvre la partie méridionale du Cameroun et s'étend entre le 2^{ème} et le 6^{ème} degrés de latitude Nord ; on y rencontre deux types climatiques : le type subéquatorial et le type équatorial.

II.1.2.1.1. Climat subéquatorial

Caractérisé par une saison sèche prolongée, ce climat présente trois variantes :

- le climat subéquatorial à pluviométrie relativement déficitaire qui règne sur la « mosaïque forêt-savane » de la région de Bafia et qui descend jusqu'au nord de la ville de Yaoundé. Ce climat montre un régime pluviométrique bimodal marqué par des précipitations modestes dont la moyenne annuelle se situe autour de 1.500 mm, avec des températures moyennes autour de 25°C ;

- le climat subéquatorial de transition avec le climat équatorial, qui couvre toute la région allant de Yaoundé jusqu'à Nanga-Eboko, est marqué par deux saisons des pluies très inégales et une grande instabilité pluviométrique. La moyenne annuelle des précipitations se situe entre 1.500 mm et 1.800 mm et la moyenne annuelle des températures entre 23°C et 25°C.

- le climat subéquatorial de nuance continentale couvre les vastes étendues de savanes guinéo-soudaniennes du bassin de la Kadéï, qui arrose les villes de Bertoua et Batouri dans la région de l'Est ; il est caractérisé par une pluviosité dont la moyenne annuelle peut atteindre 1.600 mm, des séquences de sécheresse sévères et une température moyenne annuelle de 24°C.

II.1.2.1.2. Climat équatorial

Ce climat est caractérisé par une humidité et une égalisation hygrométrique saisonnière avec une participation de la forêt dense au renforcement des précipitations ; on y rencontre quatre nuances :

- le climat équatorial de style continental règne sur le bassin de la Sangha qui arrose les régions de Yokadouma, Moloundou et leurs environs ; il montre un régime pluviométrique marqué par une égalisation saisonnière avec des intersaisons. La moyenne annuelle des températures se situe autour de 24°C et celle des précipitations entre 1.500 mm et 1.700 mm ;

- le climat équatorial à faciès océanique domine sur la partie sud-ouest du plateau sud-camerounais, notamment dans les villes d'Ebolowa et Sangmélina ; il est marqué par une

abondante pluviométrie annuelle d'environ 1.800 mm et une température annuelle moyenne d'environ 24°C ;

- le climat équatorial de mousson règne sur la région côtière au sud du Nyong ; il est caractérisé par une abondance des précipitations dont les moyennes annuelles se situent entre 2.000 mm et 3.000 mm. Le régime pluviométrique est de type bimodal et les températures peuvent atteindre 26°C ;

- le climat équatorial camerounien règne sur la bande méridionale allant de l'embouchure du Nyong et celle de l'Akpa Yafe jusqu'aux hautes terres de l'Ouest, constituant un complexe climatique marqué par une hyper-humidité et le caractère soutenu et persistant des précipitations. Dans la bande méridionale, entre l'embouchure du Nyong et le bassin de Douala, on observe un climat subéquatorial de basse altitude sous l'influence de la mousson, avec une saison sèche bien marquée (trois mois "écologiquement secs") et des températures élevées pouvant atteindre une moyenne annuelle de 27°C. Le bassin de Douala présente un régime typique de mousson avec une succession de jours pluvieux due à l'environnement océanique ; la moyenne annuelle des précipitations se situe autour de 4.000 mm et la moyenne des températures autour de 27°C. Le Mont Cameroun subit un effet de foehn avec une exaspération de la pluviosité sur une saison des pluies continue et des variations dues aux perturbations de l'écoulement et de l'évolution du flux atlantique ; les précipitations y sont très abondantes, avec une moyenne annuelle pouvant atteindre 10.000 mm, avec des températures moyennes annuelles de l'ordre de 26°C. Dans les hauts plateaux Bamouns et Bamiléks en zone montagnarde, le climat est tempéré, caractérisé par une pluviosité soutenue dont la moyenne annuelle varie entre 1.700 mm et 2.000 mm, et une véritable saison sèche marquée par des températures moyennes annuelles plus fraîches comprises entre 18°C et 20°C (Suchel, 1987).

II.1.2.2. Domaine tropical

Le domaine tropical est sous l'influence des climats tropicaux qui couvrent toute la région septentrionale, du plateau de l'Adamaoua au Lac Tchad ; il présente deux ensembles de nuances climatiques : le climat tropical humide et le climat sahélien.

II.1.2.2.1. Climat tropical humide

Ce climat qui règne sur la Vallée de la Bénoué et le Plateau de l'Adamaoua présente trois nuances :

- le climat tropical humide d'altitude qui couvre le plateau de l'Adamaoua, avec une affinité montagnarde franchement humide et relativement fraîche. Ce climat est marqué par une longue saison des pluies de 8 à 9 mois s'étalant entre mars et octobre, avec des précipitations moyennes annuelles pouvant atteindre 1.500 mm. La saison sèche dure 3 à 4 mois, entre novembre et février, avec une température moyenne annuelle de 28°C ;

- le climat soudanien de nuance humide, qui règne sur le piémont septentrional du Plateau de l'Adamaoua, est marqué par une grande diversité de microclimats. La saison des pluies dure sept mois ; elle commence en avril et s'achève en octobre avec une moyenne annuelle des précipitations autour de 1.450 mm. La température moyenne annuelle est d'environ 26°C ;

- le climat soudanien franc de région déprimée règne principalement dans la cuvette de la Bénoué, caractérisé par des précipitations pouvant atteindre 1.100 mm et une température moyenne annuelle de 28,1°C ; ce climat est marqué par une saison sèche allant de novembre à mars et une saison des pluies allant d'avril à octobre (Suchel, 1987).

II.1.2.2.2. Climat sahélien

Ce climat règne au-delà du 11^{ème} parallèle et présente une succession de microclimats :

- le climat soudanien d'altitude des Monts Mandara est caractérisé par un renforcement des précipitations dont la moyenne annuelle se situe entre 900 mm et 1.000 mm, et des températures relativement faibles dont la moyenne annuelle se situe autour de 26°C ;

- le climat soudanien de nuance sèche règne dans la plaine du Diamaré et ses environs, caractérisé par des précipitations relativement faibles variant entre 400 mm et 900 mm, et une température moyenne annuelle comprise entre 27°C et 28°C. La saison sèche d'environ 8 mois commence en octobre et s'achève en avril ; la période comprise entre mai et septembre est marquée par une saison des pluies aux précipitations très peu abondantes ;

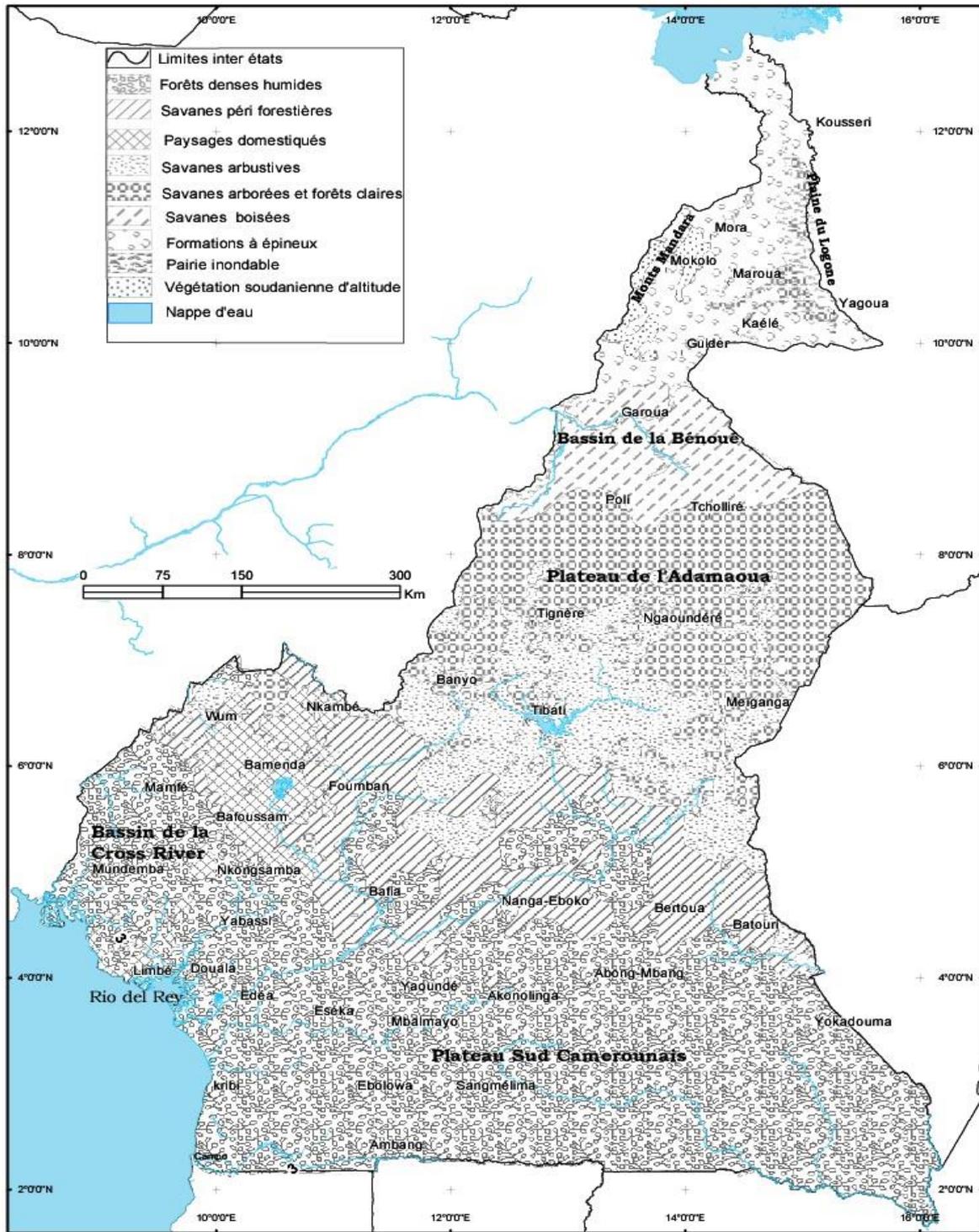
- le climat sahélien classique qui domine la ville de Kousséri et ses environs est caractérisé par la brièveté et la précarité de l'apport pluviométrique dont la moyenne annuelle se situe entre 350 mm et 700 mm. La saison sèche, plus longue (au moins 8 mois), est marquée par des contrastes thermiques saisonniers sur fond de chaleur et de sécheresse, avec des températures pouvant atteindre 45°C, et une moyenne annuelle se situant autour de 28°C (Neba Suh, 1987).

II.1.3. Données phytogéographiques

La phytogéographie du Cameroun est calquée sur la répartition des climats, même si l'action anthropique reste prépondérante sur leur évolution (Figure 4). Du nord au sud, on assiste non seulement à une dégradation de nombreuses régions floristiques, mais aussi à la mise en place et à l'extension des plantations de caféiers (*Coffea robusta* Froehner, 1897 et *Coffea arabica* Linné, 1753), de cacaoyers (*Theobroma cacao* Linné, 1753), de palmiers à huile (*Elaeis guineensis* Jacquemard, 1763), d'hévéa (*Hevea brasiliensis* Müller, 1865), de bananiers (*Musa* spp.). Les formations phytogéographiques (naturelles) sont essentiellement composées de plantes angiospermes appartenant à plus de 8.000 espèces, regroupées en 1.800 genres et en 230 familles (Letouzey, 1968).

Le domaine tropical, situé au-dessus du 6^{ème} parallèle, est constitué de prairies inondables, des boisements et des steppes arbustives soudano-sahéliens. Dans le plateau de l'Adamaoua, la couverture végétale est de type soudano-guinéen caractérisé par des savanes arbustives, arborées voire boisées, avec des vallons forestiers soudano-guinéens encaissés. On y rencontre aussi par endroits des étendues de forêt dense semi-décidue se développant dans les vallées souvent marécageuses. Dans les Monts Mandara, on observe une imbrication des boisements médio-soudaniens de moyenne altitude à *Isobertia doka* Craib & Stapf, 1911 sur sol plus ou moins rocaillieux qui s'étendent aux steppes arbustives sahélo-soudaniennes de la plaine du Diamaré et soudano-sahéliennes des bassins de la Bénoué, du Mayo Rey, de la Vina et du Mbéré. Dans la majeure partie de la plaine du Tchad, on observe des prairies inondables (yaérés) et des steppes à épineux. Les rivières temporaires (mayos), les canaux d'écoulement et les mares résiduelles de cette région présentent une flore aquatique à *Echinochloa stagnina* Beauvois 1812, *Nymphaea* spp., *Eichhornia natans* Solms, 1882... Aux abords du Lac Tchad et sur une bande n'excédant pas 25 km de large, on observe des boisements sahéliens et des steppes arbustives (Letouzey, 1985).

Dans le domaine subéquatorial, on rencontre des savanes péri-forestières arbustives avec souvent des éléments soudano-zambéziens, des savanes intra et péri-forestières herbeuses et des groupements saxicoles divers. Les forêts denses humides sempervirentes guinéo-congolaises couvrent toute la région méridionale autour de la Baie du Biafra et le secteur forestier toujours vert camerouno-congolais autour du Dja (Letouzey, 1968, 1985). Les forêts de mangrove couvrent la bordure maritime et sont plus développées autour du Rio-Del-Rey et du bassin de Douala.



Source: Letouzey, 1968

Source : Letouzey (1968)

Figure 4. Carte des domaines phytogéographiques du Cameroun.

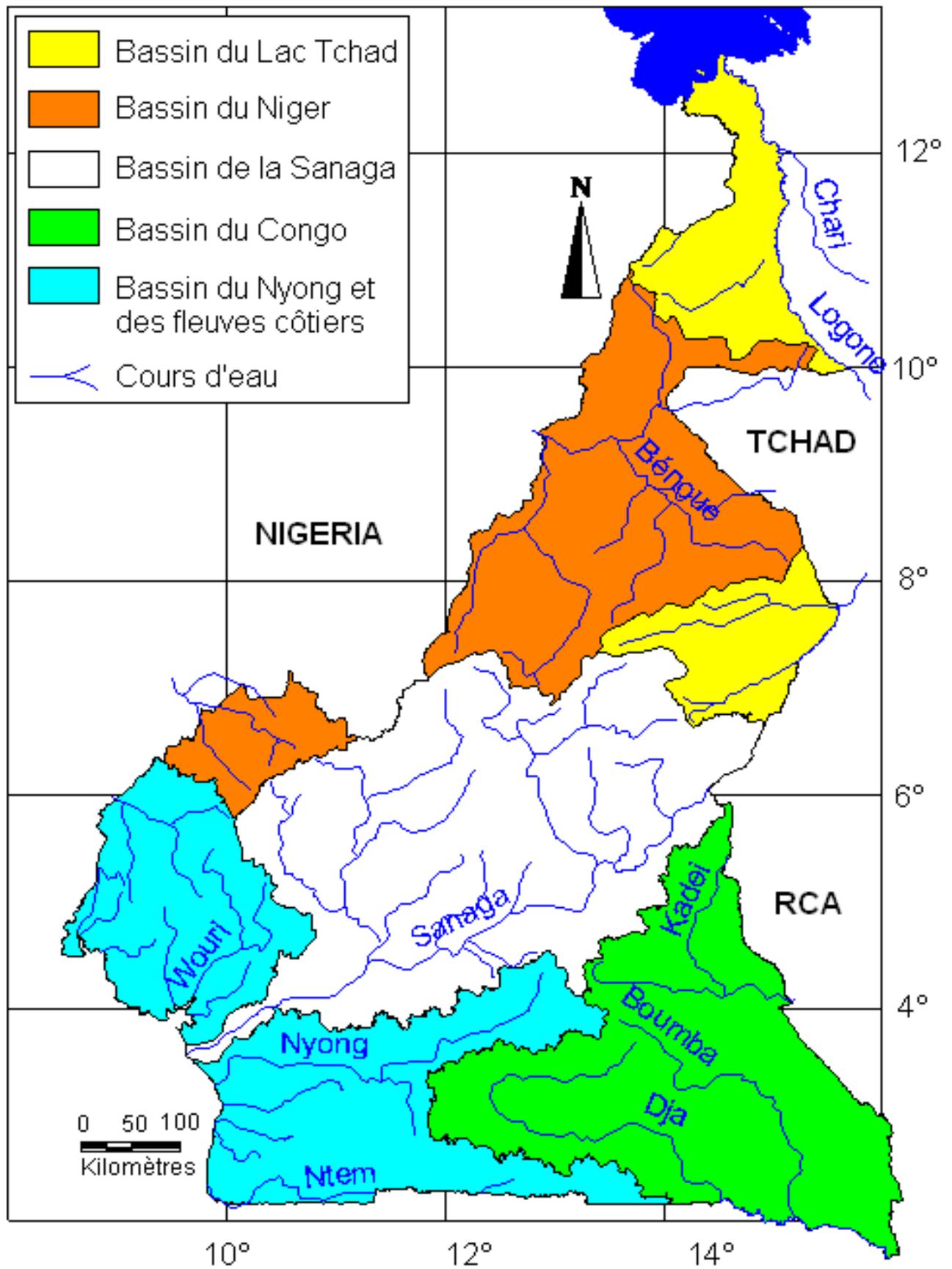
Les hautes terres de l'Ouest sont essentiellement dominées par des savanes arbustives d'altitude, des peuplements forestiers d'altitude constitués de forêts sub-montagnardes entre 800 m et 2.000 m, des forêts montagnardes entre 2.000 m et 2.800 m, et des prairies au-delà de 2.800 m, notamment au Mont Cameroun et au Mont Oku. Au niveau de la zone de transition entre les hautes terres de l'Ouest et le Plateau sud-camerounais, entre les latitudes 4°N et 5°N, on rencontre des forêts semi-caducifoliées moins humides en équilibre relativement instable avec des savanes péri-forestières et arbustives ; cette mosaïque forêt-savane s'étend à l'Est du Plateau sud-camerounais jusqu'au contact avec le secteur forestier sempervirent guinéo-congolais (Letouzey, 1985).

II.1.4. Sols

La répartition géographique des principales catégories de sols est liée au substratum, à l'ancienneté de la pédogénèse, au climat et à la topographie de la région (Olivry, 1986). La surface côtière est occupée par des sols ferralitiques fortement désaturés de coloration dominante jaunâtre. Dans le centre et le sud du pays, les sols sont ferralitiques, moyennement et fortement désaturés, remaniés ou indurés. Le Plateau de l'Adamaoua est caractérisé par des sols ferralitiques moyennement désaturés se rapprochant de ceux des plateaux Bamouns à l'ouest et Kapsiki au nord, et des cuirasses bauxitiques semblables à celles des plateaux Bamiléké dans l'ouest. Au nord de l'Adamaoua s'étend la plaine de la Bénoué occupée par des vertisols et des sols ferrugineux tropicaux hydromorphes ou halomorphes. La région de Yagoua et la plaine du Tchad sont caractérisées par trois types de sols : (1) les luvisols, accumulation d'argile dans les plans d'inondation (yaérés), (2) les fluvisols concentrés le long du fleuve Logone et sur l'axe Yagoua-Mora et (3) les planosols caractérisés par des surfaces limoneuses (Olivry, 1986).

II.1.5. Hydrographie

Conventionnellement, le réseau hydrographique camerounais est divisé en quatre grands bassins : le Bassin de l'Atlantique (Bassins de la Sanaga, du Nyong et des petits fleuves côtiers), le Bassin du Congo, le Bassin du Niger, le Bassin du Tchad (Figure 5). Ces quatre bassins se répartissent en deux ensembles : le domaine exoréique constitué de fleuves qui s'écoulent jusqu'à la mer, et le domaine endoréique où les mayos, rivières modestes au cours intermittent vont se perdre dans les terres à l'intérieur d'un bassin (Olivry, 1986).



(Olivry, 1986, modifié)

Figure 5. Bassins hydrographiques du Cameroun.

II.1.6. Zones, localités et types de sites d'étude

Les échantillons de mollusques ont été collectés dans cinq zones climatiques : (1) la zone équatoriale, (2) la zone subéquatoriale, (3) la zone tropicale humide, (4) la zone soudanienne, (5) et la zone sahélienne.

Nous avons effectué les récoltes dans dix-sept (17) sites distribués le long d'un transect allant de Sangmélima (02°57N) à Kousséri (12°11N) (Figures 6 et 7) dont deux lacs (Sangmélima, Dang), un ruisseau (Bokito), un canal d'irrigation (Marao), quatre mayos (Tchéké, Madalam, Kousséri Harazaye et Kousséri wally) et neuf mares temporaires (Gabarairou 1, Gabarairou 2, Sadamakou Bassali, Sadamakou Poussi, Kaï-Kaï, Kousséri EPC, Kousséri Résidentiel, Garoua et Yagoua), représentant les principaux types de collection d'eau abritant les populations de *Bulinus forskalii* s.s. (Figure 6) et *Bulinus senegalensis* (Figure 7) (Samé Ekobo, 1984 ; Greer *et al.*, 1990).

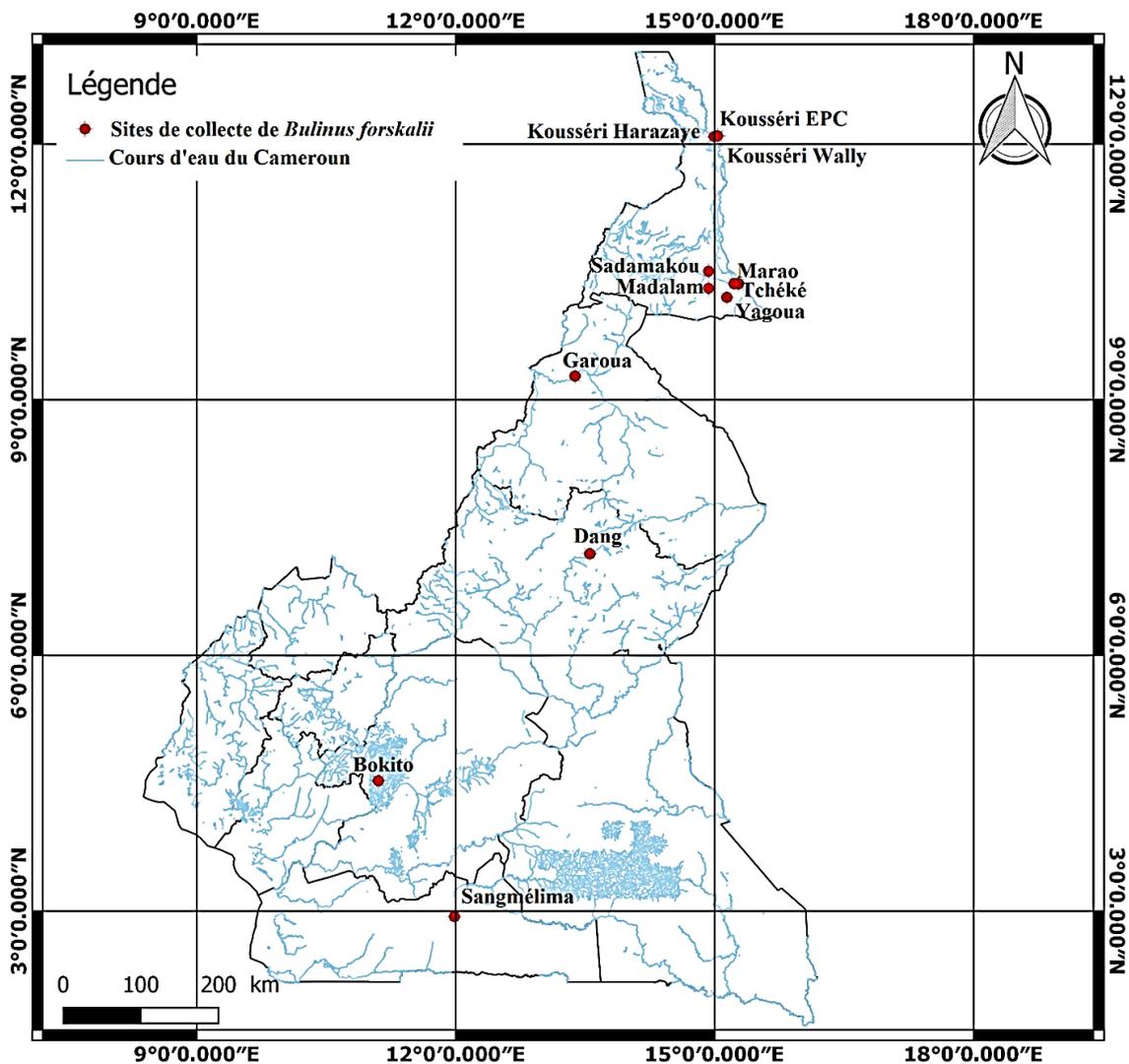


Figure 6. Carte des sites de récolte de *Bulinus forskalii* s.s. dans notre étude.

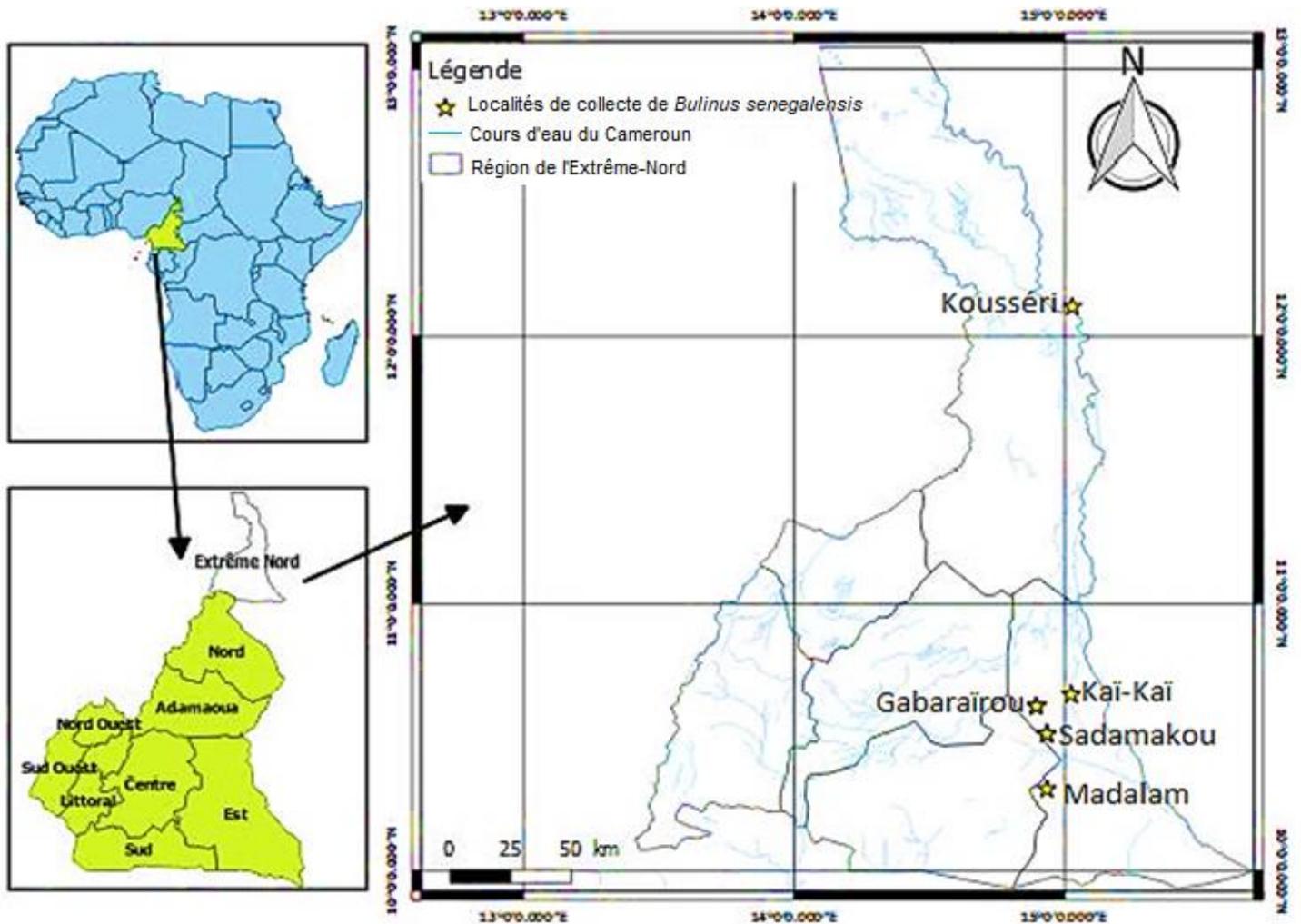


Figure 7. Carte des localités de récolte de *Bulinus senegalensis* dans notre étude.

II.1.6.1. Zone équatoriale

Les mollusques de Sangmélima ont été récoltés aux abords du lac Elatt, en climat équatorial à faciès océanique. Ce lac est situé en zone péri-urbaine sous une forte influence de l'activité humaine.

II.1.6.2. Zone subéquatoriale

À Bokito (climat subéquatorial à pluviométrie relativement déficitaire), les collectes de mollusques ont été effectuées dans le village Yorro traversé par la rivière Noubomo qui, en l'absence de système d'adduction d'eau, constitue la principale source d'approvisionnement en eau ; les populations utilisent le cours de cette rivière pour la lessive, la vaisselle, la pêche, les bains et très souvent la défécation. En amont de cette rivière s'entrecroisent de nombreux ruisseaux affluents traversant eux-mêmes des zones à forte activité agricole ; c'est dans l'un de ces affluents (Bidumbu) que les mollusques ont été échantillonnés.

II.1.6.3. Zone tropicale humide

Dans la zone tropicale humide, les récoltes ont été menées en milieu péri-urbain non loin de l'Université de Ngaoundéré, dans le lac Dang qui subit une forte pression anthropique marquée par une activité agricole saisonnière sur ses rives, la pêche très souvent pratiquée tout au long de l'année, des laveries automobiles improvisées et un déversement d'ordures ménagères et d'excrétas issus des cités universitaires voisines. Ces différentes activités conduisent à une eutrophisation graduelle du lac et à une régression de son lit progressivement envahi par une abondante végétation ; cette végétation constitue, pendant la saison sèche, un pâturage idéal pour les nombreux troupeaux de bovins et de caprins de la région et un écosystème favorable au développement des populations de mollusques.

II.1.6.4. Zone soudanienne

Dans la zone soudanienne, les récoltes ont été menées dans le domaine soudanien franc à Garoua (milieu urbain) et dans le domaine soudanien de nuance sèche dans les localités de Yagoua, Tchéké, Marao, Madalam, Sadamakou, Gabarairou et Kai-Kai.

La région de Yagoua est caractérisée par une plaine de faible pente appartenant au prolongement naturel de la plaine alluvionnaire du Bassin du Lac Tchad. Elle est traversée du Nord-Ouest au Sud-Est par le Mayo Danay dont les eaux se jettent, en saison des pluies, dans le Logone après avoir reçu une partie des eaux du Mayo Guerléo. Les sols, essentiellement argileux, gonflent sous l'effet des pluies et deviennent imperméables, remplissant de nombreuses mares temporaires (Guichard, 1955). Dans cette région, les mollusques ont été récoltés sur les rives du Mayo Guerléo à Tchéké, en contrebas de l'Ecole Catholique Sainte Anne, dans une zone à forte activité humaine (pêche, agriculture, bains, lessive). Dans le village Marao, nous avons choisi la mare Norraye, située au bord du fleuve Logone dont elle est séparée par une digue en terre. Cette mare reçoit une partie des eaux du fleuve en crue à travers un canal creusé dans la digue de protection ; ces eaux coulent ensuite dans un canal d'irrigation pour alimenter les rizières situées en aval dans le village Toukou. En période de crues, les eaux qui passent par ce canal emportent avec elles des bancs de poissons qui sont pêchés par des jeunes adolescents profitant de la même occasion pour se baigner et déféquer au passage. Les eaux de la mare Norraye constituent aussi le breuvage de nombreux troupeaux de bovins, caprins et autres animaux domestiques de la localité. Le site retenu à Yagoua est situé en zone péri-urbaine, dans une zone fortement habitée et à forte activité anthropique ; les mollusques y ont été récoltés dans une mare temporaire qui tarit en saison sèche.

La région de Kaï-Kaï a un relief caractérisé par une plaine de faible dénivellation et des sols argileux qui gonflent en saison des pluies en remplissant d'innombrables mares temporaires ; le principal cours d'eau interne de la région est le Mayo Guerléo (Guichard, 1955). À Kaï-Kaï, les récoltes ont été effectuées dans une mare temporaire située dans un quartier peuplé ; les eaux de cette mare sont utilisées par les populations riveraines pour des activités agro-pastorales et domestiques. Dans le village Madalam, les mollusques ont été récoltés sur les berges du Mayo Guerléo et dans une mare voisine, dans une zone à forte activité anthropique (pêche, agriculture, pâturage, lessive, vaisselle...). À Sadamakou et à Gabarairou, les eaux des mares résiduelles formées pendant la saison des pluies sont utilisées pour l'essentiel des activités des populations, augmentant considérablement le contact Homme-eau. Ainsi dans le village Sadamakou, nous avons effectué les collectes dans les mares Bassali et Poussi situées près des cases d'habitation, des zones agricoles et de l'école primaire. Les mares choisies dans le village Gabarairou sont quant à elles situées près de l'école primaire du village pour la première et près des zones agricoles pour la seconde.

II.1.6.5. Zone sahélienne

Dans la zone sahélienne, les mollusques ont été récoltés dans quatre points situés en périphérie et dans la ville de Kousséri. À Harazaye, les récoltes ont été menées dans le Mayo Harazaye, un bras saisonnier du Logone qui coule en contrebas de l'abattoir moderne de Kousséri dont il reçoit les restes des viscères d'animaux abattus et d'autres déchets organiques. Une intense activité agricole (maraichage) subsiste aux abords de ce site et même sur une partie du lit du mayo pendant la saison sèche. Les zones non-cultivables, constituées d'eaux résiduelles, sont entourées d'une végétation utilisée pour le pâturage. À Wally, les mollusques ont été récoltés dans une mare temporaire située au milieu des habitations. Les activités humaines les plus notables aux abords de ce site sont la pêche, la fabrication des briques en terre, la lessive, la vaisselle... Au quartier Résidentiel, les récoltes ont été effectuées dans une mare temporaire très fréquentée par les enfants en bas âge à la recherche de fleurs de nénuphar. Le site Kousséri EPC est situé à une centaine de mètres du temple de l'Eglise Presbytérienne Camerounaise de Kousséri, relativement éloigné des habitations, bordant le confluent des fleuves Logone et Chari.

Le Tableau I présente une synthèse des caractéristiques géographiques et faciès écologiques des sites de collecte.

Tableau I. Caractéristiques géographiques et faciès écologiques des localités de collecte des mollusques

Zones climatiques	N°	Localités de collecte	Coordonnées géographiques	Période de collecte	Type de site	Méthode de collecte	Faciès écologique et climatique
Zone équatoriale	1	Sangmélina	02.93721N-011.98617E Alt : 643 m	Echantillon conservé en laboratoire	Lac	PV	Domaine équatorial, milieu péri-urbain
Zone subéquatoriale	2	Bokito	04.53100N-011.10552E Alt : 440 m	Juin 2017, Juil. 2018, Juil. 2019	Ruisseau	CM	Domaine subéquatorial, milieu rural
Zone tropicale humide	3	Dang	07.19489N-013.5550E Alt: 1276 m	Nov. 2017, Oct. 2018, Oct. 2019	Lac	PV	Domaine tropical humide, milieu péri-urbain
Zone soudanienne	4	Garoua	09.28016N-013.38379E Alt : 177 m	Nov. 2017, Oct. 2018, Oct. 2019	Mare temporaire	PV + CM	Domaine soudanien franc, milieu urbain
	5	Yagoua	10.20341N-015.14261E Alt : 330 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2019	Mare temporaire	PV + CM	Domaine soudanien à nuance sèche, milieu péri-urbain
	6	Tchéké	10.36449N-015.22597E Alt : 326 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2019	Mayo	PV + CM	Domaine soudanien à nuance sèche, zone agricole
	7	Marao	10.36617N-015.27708E Alt : 321 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2019	Canal d'irrigation	PV + CM	Domaine soudanien à nuance sèche, périmètre rizicole, milieu rural
	8	Madalam	10.50954N-014.93043E Alt : 324 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2019	Mayo	PV	Domaine soudanien à nuance sèche, milieu rural
	9	Sadamakou Bassali	10.50935N-014.93043E Alt : 311 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2020	Mare temporaire	PV + CM	Domaine soudanien à nuance sèche, milieu rural
	10	Sadamakou Poussi	10.50954N-014.93062E Alt : 311 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2020	Mare temporaire	PV + CM	Domaine soudanien à nuance sèche, milieu rural
	11	Gabaraïrou 1	10.61746N-014.83623E Alt : 322 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2020	Mare temporaire	PV + CM	Domaine soudanien à nuance sèche, milieu rural
	12	Gabaraïrou 2	10.61531N-014.89183E Alt : 323 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2020	Mare temporaire	PV + CM	Domaine soudanien à nuance sèche, milieu rural
	13	Kaï – Kaï	10.65893N-015.02118E Alt : 314 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2019	Mare temporaire	PV + CM	Domaine soudanien à nuance sèche, milieu rural
Zone sahélienne	14	Kousséri-Harazaye	12.08917N-014.99516E Alt : 287 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2019	Mayo	PV	Domaine sahélien, milieu péri-urbain
	15	Kouséri-Wally	12.09973N-015.03436E Alt : 289 m	Oct. 2017, Oct. 2018, Nov. 2019	Mayo	PV + CM	Domaine sahélien, milieu péri-urbain
	16	Kouséri-EPC	12.09637N-015.03402E Alt : 290 m	Nov. 2019, Nov. 2020	Mare temporaire	PV + CM	Domaine sahélien, milieu péri-urbain
	17	Kousséri-Résidentiel	12.10885N-015.02521E Alt : 289 m	Nov. 2019, Nov. 2020	Mare temporaire	PV + CM	Domaine sahélien, milieu péri-urbain

Légende. CM : collecte manuelle ; PV : peignage de la végétation (adapté de Malek & Cheng, 1974).

II.2. Matériel et méthodes

II.2.1. Mesure des paramètres physico-chimiques des sites de récolte

Pendant les prospections malacologiques, des paramètres physico-chimiques de l'eau ont été enregistrés sur le terrain suivant les recommandations de Rodier *et al.* (2009). Ainsi, pour éviter toute perturbation du milieu susceptible de biaiser les résultats, les prélèvements d'eau et les mesures des paramètres physicochimiques ont été réalisés avant l'échantillonnage des mollusques. Ont été évalués les paramètres suivants : la température de l'eau (°C), le potentiel Hydrogène (UC), la salinité (‰), la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et les solides totaux dissous (TDS en mg/L). Toutes les mesures ont été effectuées à l'aide d'un multimètre de terrain de marque Acumet™ AET30.

II.2.2. Récolte des mollusques

Les récoltes de mollusques ont été effectuées de 2017 à 2020 dans chaque région en fonction de la saison. Dans les régions septentrionales, les récoltes ont été menées à la fin de la saison des pluies, avant l'intensification de la saison sèche. Durant cette période, le niveau de l'eau dans les gîtes est en baisse et la concentration des mollusques maximale avec une forte abondance d'individus adultes. Dans cette région, les nombreuses mares temporaires formées pendant la saison des pluies et les cours d'eau intermittents (mayos) s'assèchent progressivement à mesure qu'on avance dans la saison sèche. De par la nature du substratum et l'état d'enclavement de certaines localités, de nombreux sites dans cette région ne sont accessibles que pendant la saison sèche. Dans les zones subéquatoriales et équatoriales, les récoltes ont été effectuées pendant les mois de juin et juillet, période correspondant dans cette zone à une brève saison sèche.

Les mollusques ont été prélevés de leur milieu naturel à l'aide d'une époussette à long manche, par peignage systématique de la végétation aquatique, péri-aquatique et du fond du site (Figure 8). Dans les sites à forte densité de populations, les mollusques flottant à la surface de l'eau ainsi que ceux reposant sur des substrats végétaux flottants et les débris retrouvés sur le site ont été prélevés à la main (adapté de Malek & Cheng, 1974). La recherche des gastéropodes a été menée dans chaque site pendant une trentaine de minutes. À l'aide d'une paire de pinces souples, les mollusques ont été prélevés de l'époussette et transférés dans une cuvette plastique à fond plat contenant quelques plantes aquatiques prélevées dans le site, puis transportés au laboratoire du Département des Sciences Biologiques de la Faculté des Sciences de l'Université

de Maroua. Pour éviter tout risque d'infestation, nous nous sommes protégés les mains avec des gants imperméables et les pieds par des bottes en caoutchouc.



Figure 8. Récolte des mollusques.

II.2.3. Identification des mollusques

Dans plusieurs sites, les espèces concernées dans notre étude ont été trouvées en association avec d'autres mollusques dulcicoles. L'identification a été faite sur le terrain suivant les descriptions établies par Mandahl-Barth (1957, 1958), Brown & Kristensen (1993) et Brown (1980, 1994). Seuls les mollusques du groupe *Bulinus forskalii* ont été retenus ; les spécimens de toutes les autres espèces ont à chaque fois été systématiquement remis à l'eau.

II.3.4. Test d'émission cercarienne

Les mollusques ont été placés individuellement dans des piluliers contenant de l'eau de source et exposés à la lumière du jour pour stimuler l'émission cercarienne. Pour les sites à forte densité de population, les mollusques étaient placés par groupe de cinq dans les piluliers, puis placés individuellement dans des cupules en cas d'émission cercarienne, ceci en vue d'identifier les mollusques émetteurs (Malek & Cheng, 1974 ; Mimpfoundi, 1983). Chaque pilulier était porté à la loupe binoculaire pour la recherche des cercaires (Figure 9). Les mollusques naturellement infestés et émettant des cercaires ont été isolés puis dénombrés. Les cercaires de Schistosomatidae ont été distinguées de celles des autres groupes de Trématodes par leur éthologie.



Figure 9. Test d'émission cercarienne

- a. Exposition à la lumière indirecte du soleil des mollusques contenus dans des piluliers ;
- b. Recherche des cercaires à la loupe binoculaire.

II.3.5. Conservation des mollusques

Une fois au laboratoire, les mollusques vivants ont été conservés dans des bacs en plastique avec de l'eau enrichie à la spiruline (complément alimentaire), et nourris avec des feuilles de laitue fraîches. L'eau d'élevage était remplacée tous les deux jours pour éviter la putréfaction du milieu (Mimpfoundi, 1983).

Les mollusques destinés à l'étude conchyliologique ont été placés dans des flacons fermant hermétiquement et contenant de l'éthanol à 70°. À des intervalles de temps réguliers (1 mois), le liquide de fixation (éthanol 70°) était renouvelé ; chaque échantillon portait une étiquette mentionnant son numéro d'identification, l'espèce identifiée, la date de collecte, le nom du lieu et le type de site de collecte (Malek & Cheng, 1974 ; Malek, 1985).

II.3.6. Etudes morphologique et morphométrique des coquilles

Les études conchyliologiques ont été menées sur des coquilles fixées à l'éthanol à 70° ainsi que sur des coquilles vides prélevées dans les sites d'échantillonnage. De ces échantillons, nous avons éliminé les coquilles endommagées, à apex érodé ou incomplet ou encore au labre cassé. Les coquilles ont été nettoyées avec de l'eau distillée et un pinceau souple pour les débarrasser des dépôts divers. Nous avons ensuite observé chaque coquille à la loupe binoculaire WILD M5A pour déterminer sa forme, et pour noter sa couleur et son ornementation. Enfin, nous avons réalisé un dessin de chaque coquille à la chambre claire (objectif 12x) à partir duquel nous avons évalué les paramètres morphométriques ci-après : hauteur de la coquille (H), hauteur de la spire (HS), hauteur de l'ouverture (HO), diamètre maximal de la coquille (h), largeur de l'ouverture (LO) et nombre de tours de la spire (NT), conformément aux méthodes décrites par Brown & Shaw (1989), Brown (1991) et le Danish Bilharziasis Laboratory (1998) (Figure 10).

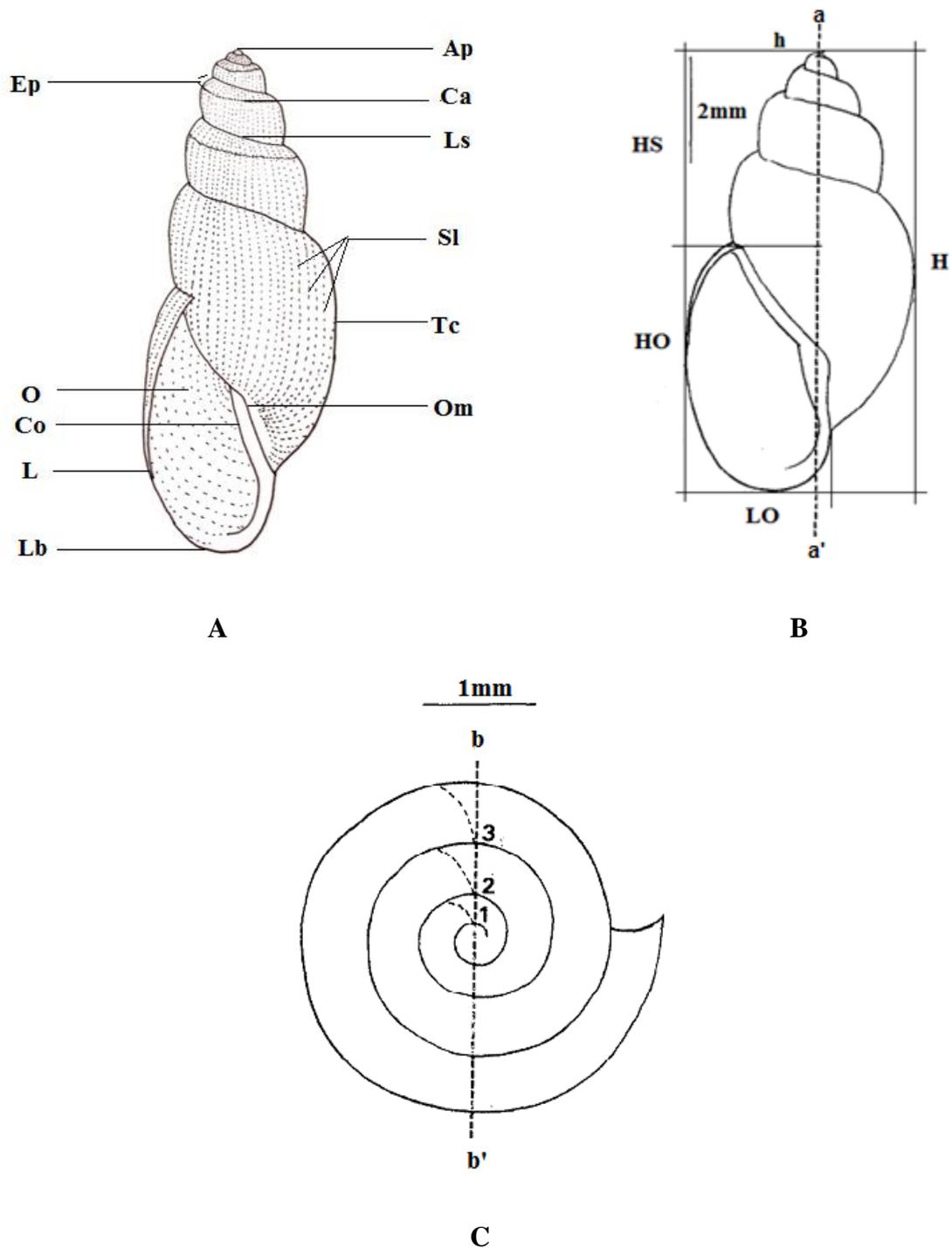


Figure 10. Méthodes d'étude de la coquille dans le groupe *Bulinus forskalii*

(A) Parties de la coquille (adapté de Malek & Sheng, 1974). (B) Technique de mensuration et (C) détermination du nombre de tours (Malek, 1985 ; Brown, 1991).
aa' = axe longitudinal de la coquille ; **Ap** = apex ; **bb'** = axe de la coquille vue de l'apex ; **Ca** = carène ; **Co** = columelle ; **Ep** = épaulement ; **H** = Hauteur de la coquille ; **h** = diamètre maximal de la coquille ; **HO** = hauteur de l'ouverture ; **HS** = hauteur de la spire ; **L** = labre ; **Lb** = lèvre basale ; **LO** = largeur de l'ouverture ; **Ls** = ligne de suture ; **O** = ouverture du dernier tour ; **Om** = ombilic ; **Sl** = stries longitudinales ; **Tc** = tour corporel.

Pour déterminer les variations allométriques entre les caractères étudiés sur les coquilles de *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus senegalensis*, nous avons évalué les rapports définis par Brown (1991) sur *Bulinus forskalii* de São-Tomé, notamment H/h, H/HO, NT/H et NT/h, puis nous avons complété notre analyse par les rapports H/HS, H/LO, HO/h, HO/LO, HS/HO et h/LO.

II.3.7. Méthodes statistiques

Les données morphométriques ont été saisies à l'aide du logiciel Microsoft Office Excel 2016 qui a également servi pour la construction des tableaux ; les logiciels PAST (version 4.11) et R (version 4.0.1) ont servi pour la statistique descriptive et la statistique inférentielle..

II.3.7.1. Statistique univariée

Dans chaque échantillon de coquilles et pour chacun des paramètres étudiés, nous avons calculé la moyenne et l'écart type selon les formules ci-après (Schwartz, 1983 ; Murray, 1992) :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

où \bar{x} est la moyenne, n l'effectif ou taille de l'échantillon, s l'écart type, $\sum x_i$ la somme des valeurs de x et $\sum (x_i - \bar{x})^2$ est la somme des écarts quadratiques à la moyenne \bar{x} du groupe.

II.3.7.2. Test d'analyse des variances (ANOVA)

Après la vérification de la normalité, nous avons utilisé le test d'analyse des variances qui consiste à estimer la variance entre les moyennes des échantillons (variance intergroupe ou interclasse) et la variance à l'intérieur des échantillons (variance intragroupe ou intraclasse ou résiduelle), puis à les comparer à l'aide du test F (Schwartz, 1983 ; Achiri Tange, 2014).

Nous avons calculé la variance interclasse suivant la formule :

$$VIC = \frac{\sum \sum (x_i - \bar{x})^2}{N - k}$$

où VIC est la variance interclasse, $\sum (x_i - \bar{x})^2$ la somme des écarts quadratiques à la moyenne \bar{x} du groupe, $\sum \sum (x_i - \bar{x})^2$ la somme des sommes des écarts quadratiques à la moyenne, N l'effectif total des valeurs de la variable x (tous les échantillons confondus), k le nombre d'échantillons examinés et \bar{x} la moyenne des valeurs de x pour un échantillon donné.

Pour le calcul de la variance intra-classe ou résiduelle, nous avons utilisé la formule ci-après :

$$VR = \frac{\sum n(\bar{x}-M)^2}{k-1}$$

où VR est la variance résiduelle, $(\bar{x} - M)^2$ l'écart quadratique de la moyenne du groupe à la moyenne générale, \bar{x} la moyenne des valeurs de x pour un échantillon donné, n la taille de l'échantillon, M la moyenne de l'ensemble des valeurs de x et k le nombre de groupes ou d'échantillons examinés.

Pour calculer la valeur de F , nous avons utilisé la formule ci-après :

$$F = \frac{VIC}{VR}$$

où VIC est la variance interclasse et VR la variance résiduelle.

La valeur de F est lue sur la table de Snédécour, à la croisée de ζ_1 et ζ_2 correspondant au seuil de probabilité de 0,05, avec ζ_1 (égal à $k - 1$) le nombre de degrés de liberté se rapportant à la variance interclasse et ζ_2 (égal à $N-k$), le nombre de degrés de liberté se rapportant à la variance résiduelle.

II.3.7.3. Test HSD de Tukey

Pour vérifier les résultats obtenus par le test d'analyse des variances (ANOVA), nous avons comparé deux à deux les moyennes des différents paramètres étudiés sur les échantillons par le test "honestly significant difference" (HSD) de Tukey selon la formule ci-après (Hampton & Havel, 2006) :

$$Q = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{MSw(\frac{1}{n})}}$$

où Q est la valeur de la différence entre les moyennes obtenues sur les échantillons A et B ; \bar{x}_A et \bar{x}_B sont les moyennes calculées sur les échantillons A et B , MSw est la moyenne des carrés des écarts se rapportant à la variance résiduelle, n le nombre d'individus.

La valeur de Q est lue sur la table du test Q de Tukey.

II.3.7.4. Calcul de l'écart-réduit

Pour la comparaison des données morphométriques obtenues sur quelques échantillons de *Bulinus forskalii* s.s. de notre étude et les données morphométriques obtenues par Mimpfoundi *et al.* (1999) sur *Bulinus camerunensis* de Debundscha et Barombi Kotto, nous avons utilisé l'écart-réduit (ϵ) qui est calculé selon la formule ci-après (Schwartz, 1983) :

$$\varepsilon = \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_B}{\sqrt{\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_B^2}{n_B}}}$$

où ε est l'écart-réduit, \bar{x}_A et \bar{x}_B les moyennes calculées pour les échantillons A et B (\bar{x}_A étant la moyenne la plus élevée), n_A et n_B sont les effectifs des échantillons A et B, s_A^2 et s_B^2 les variances estimées sur les échantillons A et B.

Le degré de signification de la différence est lu sur la table de l'écart-réduit au nombre de degrés de liberté (ddl) correspondant au seuil de probabilité de 0,05.

II.3.7.5. Calcul du coefficient de corrélation de Pearson

Pour évaluer le degré de corrélation entre les différents paramètres mesurés sur les coquilles de *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus senegalensis*, nous avons calculé le coefficient de corrélation linéaire de Pearson (r) selon la formule ci-après (Lamotte, 1967 ; Achiri Tange, 2014) :

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_j - \bar{y})}{n s_x s_y}$$

où x_i est la valeur du paramètre placé en abscisse et \bar{x} la valeur moyenne des x ; y_j est la valeur du paramètre placé en ordonnée et \bar{y} la valeur moyenne des y ; s_x est l'écart type des x et s_y l'écart type des y , n le nombre de couples d'observations et r le coefficient de corrélation calculé.

II.3.7.6. Test de X^2

Le Chi carré est un test statistique conçu pour évaluer si une différence entre deux ou plusieurs distributions de fréquences est attribuable à une erreur d'échantillonnage (le hasard) ou est suffisamment grande pour être statistiquement significative. Il indique si la différence entre une distribution observée et une distribution théorique est assez faible pour que l'on ait le droit, avec un risque α donné, de les assimiler. On détermine le nombre de degrés de liberté à partir du nombre de classes avec un risque de 5%. On déduit par la suite, à l'aide de la table de χ^2 , et en tenant compte du nombre de degrés de liberté, la valeur limite au-delà de laquelle la valeur χ^2 calculée n'a que 5% de chance de se situer (Combes, 1989 ; Murray, 1992). Nous avons utilisé le test de Chi carré pour comparer les taux naturels d'émissions cercariennes par *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus senegalensis*.

II.3.7.7. Analyse en composantes principales (ACP)

Cette méthode, utilisée pour la première fois par Pearson (1901), est fondamentale en statistique descriptive multidimensionnelle. Elle permet de traiter simultanément un nombre

quelconque de variables, toutes quantitatives (Baccini, 2010). Il s'agit d'une méthode multivariée qui transforme les variables liées entre-elles en nouvelles variables non liées les unes aux autres, appelées composantes principales ou axes principaux. En d'autres termes, il s'agit de récapituler en quelques variables synthétiques la majorité de l'information contenue dans les variables initiales. Cette approche permet de réduire le nombre de variables à analyser et de rendre l'information moins redondante. Dans le présent travail, seize paramètres conchyliologiques ont été utilisés. Il s'agit de la hauteur de la coquille (H), la hauteur de la spire (HS), la hauteur de l'ouverture (HO), le diamètre maximal de la coquille (h), la largeur de l'ouverture (LO), le nombre de tours de la spire (NT) ainsi que les rapports allométriques H/h, H/HO, NT/H, NT/h, H/HS, H/LO, HO/h, HO/LO, HS/HO et h/LO. La règle du coude ou critère du "Cattel" a été utilisée pour le choix du nombre d'axes à retenir ; cette règle préconise de détecter l'existence d'un coude sur un diagramme des valeurs propres. Les facteurs associés aux valeurs propres situées avant le coude sont alors conservés (Baccini, 2010) (Figure 11).

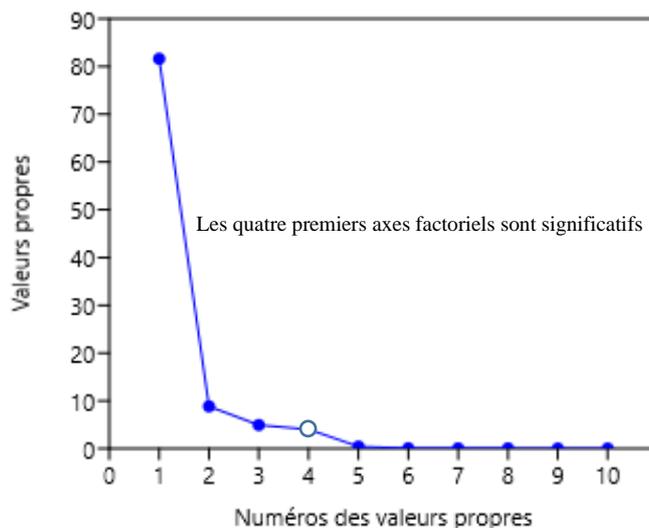


Figure 11. Choix du nombre d'axes en ACP : lorsque les différences entre les valeurs propres successives deviennent faibles, les axes principaux correspondants ne sont plus significatifs.

II.3.7.8. Neighbour-joining (construction des cladogrammes)

La méthode du Neighbour-joining est basée sur le principe d'évolution minimale qui fait l'hypothèse selon laquelle l'arbre vrai est celui dont les branches ont les plus petites longueurs ; les longueurs de ces branches décrivent le plus fidèlement possible les distances évolutives entre les taxons considérés (Saitou & Nei, 1987 ; Takamura *et al.*, 2004). Nous avons utilisé la méthode de Neighbour-joining avec 1000 répliques pour réaliser les cladogrammes à partir des données morphométriques des coquilles de *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus senegalensis*.

L'essentiel de l'analyse statistique des données a été effectué avec les logiciels PAST (version 4.11) et R (version 4.0.2). La différence a été considérée statistiquement significative au seuil de probabilité de 0,05.

CHAPITRE III : RÉSULTATS ET DISCUSSION

III.1. Résultats

III.1.1. Écologie des sites de récolte

Nous présentons au Tableau II les moyennes des mesures effectuées sur quelques paramètres physico-chimiques dans les gîtes notamment la température, le potentiel hydrogène (pH), la conductivité électrique, les solides totaux dissous (TDS) et la salinité. Les mesures ont été effectuées une fois par an et au moins à trois reprises dans chaque site.

Les mesures effectuées ont montré une température évoluant entre 25,04°C (Sadamakou Poussi) et 33,72°C (Kousséri Résidentiel), un pH entre 6,61 (Dang) et 8,09 (Kaï-Kaï), une conductivité entre 80,72 µS/cm (Madalam) et 236,00 µS/cm (Kousséri Résidentiel), un total de solides dissous entre 72,43 mg/l (Madalam) et 211,02 mg/l (Kousséri Résidentiel) et une salinité entre 38,03 ‰ (Madalam) et 100,09 ‰ (Gabarairou 1, Kaï-Kaï) (Tableau II).

Tableau II. Valeurs moyennes de quelques paramètres physicochimiques des sites d'échantillonnage

Site	Type de site	Température (°C)	pH	Conductivité (µS/cm)	TDS (mg/L)	Salinité (‰)
Bokito	Ruisseau	26,71±0,61 ^g	7,51±0,17 ^d	158,30±9,68 ^d	97,30±2,75 ^{g,h}	45,52±2,18 ^g
Dang	Lac	27,93±0,45 ^f	6,61±0,21 ^h	109,82± 11,87 ^{g,h}	99,31±2,65 ^g	38,23±1,88 ⁱ
Garoua	Mare temporaire	27,12±0,68 ^g	6,80±0,19 ^f	186,30±9,32 ^c	166,53±5,68 ^c	87,10±5,03 ^b
Marao	Canal d'irrigation	27,70±0,54 ^f	7,81±0,22 ^c	99,36±11,65 ^{h,i}	89,32±2,35 ^h	46,54±2,78 ^g
Tchéké	Mayo	28,93±0,59 ^{d,e}	7,52±0,18 ^d	89,72±13,86 ^j	79,80±1,98 ⁱ	41,72±2,08 ^h
Yagoua	Mare temporaire	27,42±0,45 ^{f,g}	8,01±0,25 ^b	134,54±10,69 ^e	118,80±3,68 ^e	62,31±4,68 ^d
Madalam	Mayo	31,24±0,75 ^{b,c}	8,02±0,22 ^b	80,72±12,95 ^j	72,43±1,58 ⁱ	38,03±1,68 ⁱ
Sadamakou Bassali	Mare temporaire	26,93±0,40 ^g	6,71±0,17 ^g	105,63±13,68 ^h	91,31±2,89 ^h	51,20±3,65 ^f
Sadamakou Poussi	Mare temporaire	25,04±0,74 ^h	6,80±0,18 ^f	139,35±10,88 ^e	124,30±3,63 ^e	64,90±4,03 ^d
Gabarairou 1	Mare temporaire	30,90±0,35 ^c	7,40±0,16 ^e	215,07±15,08 ^b	189,03±5,98 ^b	100,09±5,28 ^a
Gabarairou 2	Mare temporaire	29,33±0,43 ^d	7,42±0,19 ^e	119,03±11,53 ^g	107,02±3,65 ^f	57,00±4,68 ^e
Kaï – Kaï	Mare temporaire	28,54±0,55 ^e	8,09±0,28 ^a	213,03±16,07 ^b	191,01±5,52 ^b	100,09±5,45 ^a
Kousséri-Harazaye	Mayo	28,80±0,62 ^{d,e}	7,57±0,21 ^d	84,04±15,68 ^j	77,90±2,87 ⁱ	40,80±2,68 ^h
Kousséri-Wally	Mayo	31,91±0,44 ^b	6,44±0,27 ⁱ	156,02±12,29 ^d	140,62±4,60 ^d	73,90±3,88 ^c
Kousséri-EPC	Mare temporaire	29,02±0,67 ^d	8,04±0,25 ^{a,b}	124,91±11,16 ^g	111,63±3,08 ^f	58,14±3,62 ^e
Kousséri-Résidentiel	Mare temporaire	33,72±0,36 ^a	7,81± 0,20 ^c	236,00±14,57 ^a	211,02±6,58 ^a	62,10±3,98 ^d
p value		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Légende. °C = degré Celsius, pH = potentiel hydrogène, µS/cm = micro-sivert par centimètre, TDS = total des solides dissous, mg/L = milligramme par litre, ‰ = pour mille, s = écart type ; les données sont présentes sous la forme moyenne±écart-type. Les valeurs arborant la même lettre ne présentent pas entre elles une différence statistiquement significative.

III.1.2. Faune malacologique des sites de récolte

Pendant les prospections malacologiques, nous avons observé et identifié *in-situ* d'autres gastéropodes dans les sites ; ont ainsi été récoltés :

- à Bokito : *Bulinus forskalii* s.s., *Potadoma* sp. ;
- à Dang : *Bulinus forskalii* s.s., *Lymnea natalensis* Kraus, 1848, *Bulinus truncatus*, *Bulinus globosus* ;
- à Garoua : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus globosus*, *Bellamyia unicolor* (Olivier, 1804) ;
- à Yagoua : *Bulinus forskalii* s.s., *Lymnea natalensis*, *Ceratophalus natalensis* (Krauss, 1848), *Bellamyia unicolor* ;
- à Tchéké : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus truncatus*, *Lymnea natalensis*, *Ceratophalus natalensis*, *Bellamyia unicolor* ;
- à Marao : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus truncatus*, *Lymnaea natalensis*, *Bellamyia unicolor*, *Ceratophalus natalensis* ;
- à Madalam : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus senegalensis*, *Bulinus globosus*, *Lymnea natalensis*, *Ceratophalus natalensis*, *Bellamyia unicolor* ;
- à Sadamakou Bassali : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus senegalensis* ;
- à Sadamakou Poussi : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus senegalensis*, *Lymnea natalensis* ;
- à Gabaraïrou 1 : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus senegalensis*, *Ceratophalus natalensis* ;
- à Gabaraïrou 2 : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus senegalensis* ;
- à Kai-Kai : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus senegalensis*, *Bellamyia unicolor* ;
- à Kousséri Wally : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus globosus*, *Lymnea natalensis*, *Ceratophalus natalensis* ;
- à Kousséri Harazaye : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus globosus*, *Lymnea natalensis*, *Ceratophalus natalensis* ;
- à Kousséri EPC : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus globosus*, *Ceratophalus natalensis* ;
- à Kousséri Résidentiel : *Bulinus forskalii* s.s., *Bulinus senegalensis*, *Ceratophalus natalensis*.

Tous les mollusques n'appartenant pas au groupe *Bulinus forskalii* ont été retournés dans leur site de récolte après identification.

III.1.3. Caractères morphologiques

L'étude des caractères morphologiques et morphométriques a été effectuée sur un total de 1.484 coquilles récoltées dans 19 populations dont 12 populations de *Bulinus forskalii* s.s. (955 coquilles) et 7 populations de *Bulinus senegalensis* (529 coquilles).

III.1.3.1. *Bulinus forskalii* s.s.

La coquille de *Bulinus forskalii* s.s. est turriculée ($H \geq 2h$) ; elle présente une spire (HS) plus haute que l'ouverture (HO), elle-même supérieure à sa largeur ($HO > LO$), à l'exception de celle de la population de Marao où la hauteur ($H = 4,27$ mm) est inférieure au double du diamètre maximal ($2h = 4,40$ mm). La hauteur de l'ouverture ($HO = 2,29$ mm) est supérieure à la hauteur de la spire ($HS = 1,97$ mm) et à sa largeur ($LO = 1,42$ mm). Elle est ornée de stries longitudinales reliant l'apex au dernier tour et convergeant au dernier tour vers l'ombilic (Figure 12).

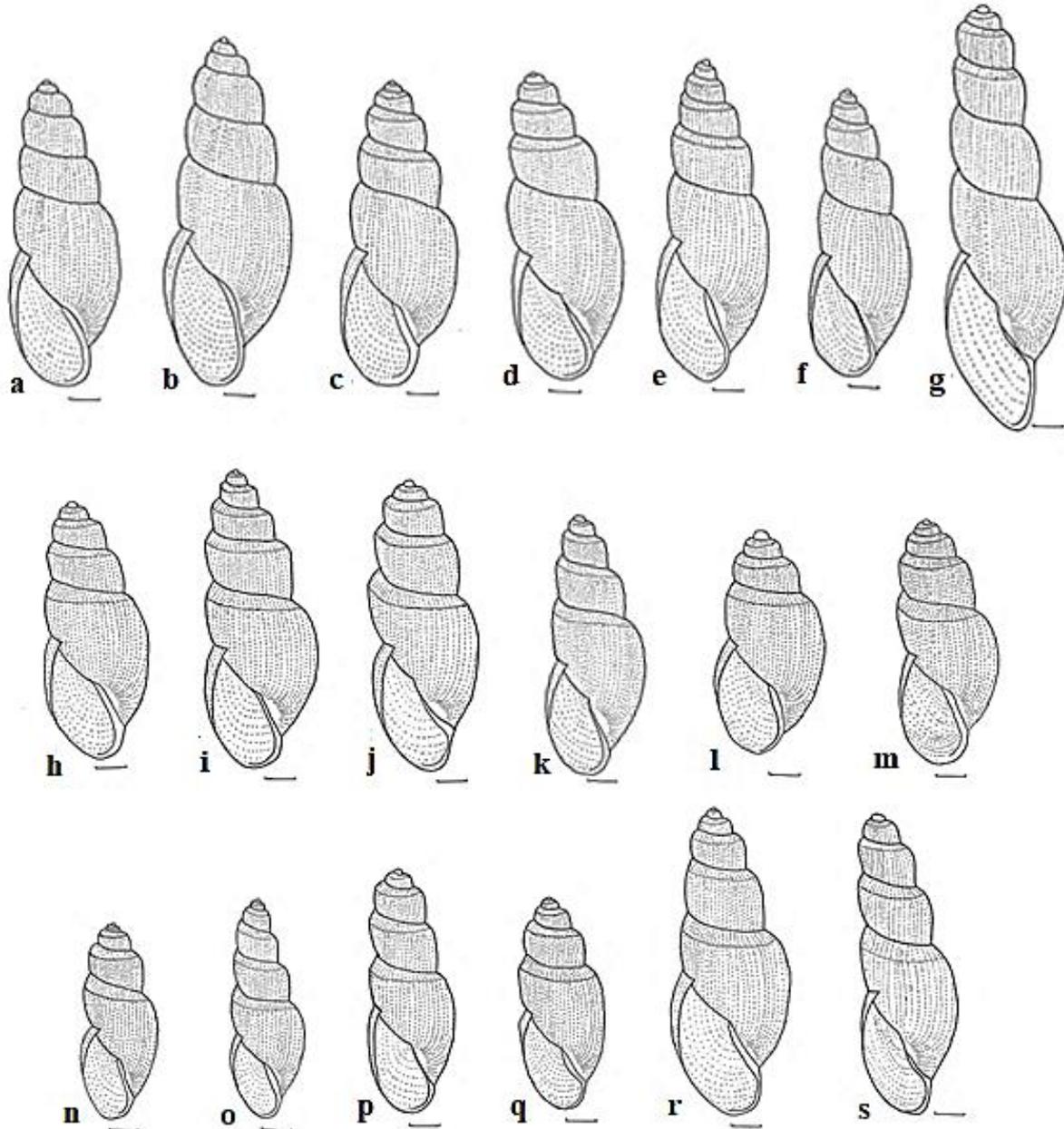


Figure 12. Ornémentations de la coquille de *Bulinus forskalii* s.s.

Coquilles sans carène (a. Sangmélina, b. Bokito)

Coquilles partiellement carénées (c. Sangmélina, d. Bokito, e. Dang, f. Garoua, g. Kousséri EPC)

Coquilles carénées sur tous les tours (h. Sangmélina, i. Bokito, j. Dang, k. Garoua, l. Yagoua, m. Tchéké, n. Marao, o. Madalam, p. Sadamakou, q. Kousséri Wally, r. Kousséri Harazaye, s. Kousséri EPC)

La barre d'échelle mesure **1 mm**.

Ces stries sont de deux ordres : les stries majeures plus prononcées séparées par des stries secondaires. Près de la protoconque (coquille embryonnaire), les stries longitudinales sont entrecoupées de légères stries transversales. Cette micro-sculpture est beaucoup plus prononcée dans les échantillons des régions soudano-sahéliennes, donnant un aspect réticulé avec les stries longitudinales.

La forme de la spire varie de la spire arrondie (76,47% à Sangmélina) à la spire fortement épaulée (Figure 13) dans les populations des régions soudaniennes et soudano-sahéliennes (Tableau III).

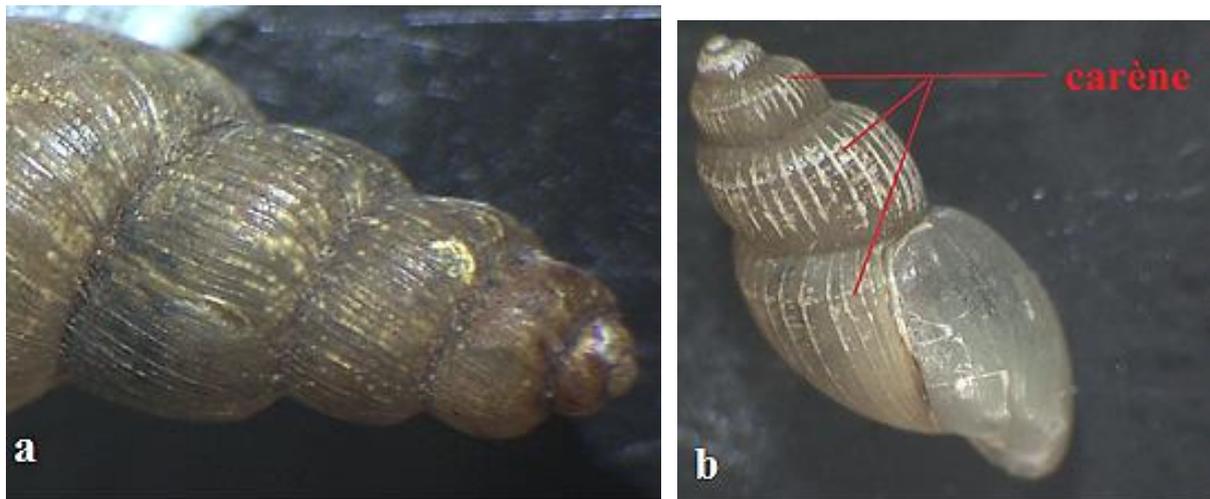


Figure 13. Absence ou présence de la carène sur la coquille de *Bulinus forskalii* s.s.
(a. Coquille avec spire arrondie et sans carène ; b. Coquille avec carène et épaulement).

Sur la majorité des coquilles dont la spire présente un épaulement, la crête de l'épaulement est accentuée par un épaissement des stries et, sur certaines coquilles, par des connexions entre les stries formant une ligne caractéristique plus ou moins continue appelée carène (Figure 13 b) présente dans toutes les populations à des fréquences variables (Tableau III). Les coquilles partiellement carénées (limitées à quelques tours) étaient beaucoup plus fréquentes dans l'échantillon issu de la population de Kousséri EPC (38,82%) et dans les populations des régions équatoriales et subéquatoriales (78,26% à Sangmélina, 66,04% à Bokito) ; ce type de coquille était moins fréquent dans les populations des régions soudaniennes (18,67% à Garoua) et soudano-sahéliennes (13,93% à Sadamakou). Les coquilles dépourvues de carène n'ont été recensées que dans les échantillons issus des régions subéquatoriale et équatoriale, avec une occurrence de 72,94% à Sangmélina et 36,90% à Bokito. Dans la zone sahélienne, à l'exception de la population de Kousséri-EPC où 38,82% des coquilles étaient partiellement carénées, toutes les autres coquilles présentaient une carène du premier au dernier tour (Tableau III).

Tableau III. Différentes formes de spires et distribution des fréquences de la carène dans les populations de *Bulinus forskalii* s.s.

Zones climatiques	Localités	N	Coquilles				
			Sans carène (%)	Partiellement carénées (%)	Carénées sur tous les tours (%)	Spires	
						À tours arrondis (%)	Avec épaulement (%)
Équatoriale	Sangmélina	85	62 (72,94) ^a	18 (21,18) ^c	5 (5,88) ^g	65 (76,47) ^a	20 (23,53) ^f
Subéquatoriale	Bokito	84	31 (36,90) ^b	35 (41,67) ^a	18 (21,43) ^f	50 (59,52) ^b	34 (40,48) ^e
Tropicale humide	Dang	83	00 (/)	18 (21,68) ^c	65 (78,31) ^d	5 (6,02) ^d	78 (93,98) ^c
Soudanienne	Garoua	75	00 (/)	14 (18,67) ^d	61 (81,33) ^c	2 (2,67) ^e	73 (97,33) ^b
	Yagoua	76	00 (/)	00 (/)	76 (100) ^a	00 (/)	76 (100) ^a
	Tchéké	74	00 (/)	00 (/)	74 (100) ^a	00 (/)	74 (100) ^a
	Marao	77	00 (/)	00 (/)	77 (100) ^a	00 (/)	77 (100) ^a
	Madalam	80	00 (/)	00 (/)	80 (100) ^a	00 (/)	80 (100) ^a
	Sadamakou	79	00 (/)	11 (13,93) ^e	68 (86,07) ^b	00 (/)	79 (100) ^a
Sahélienne	Kousséri Wally	78	00 (/)	00 (/)	78 (100) ^a	00 (/)	78 (100) ^a
	Kousséri Harazaye	79	00 (/)	00 (/)	79 (100) ^a	00 (/)	79 (100) ^a
	Kousséri EPC	85	00 (/)	33 (38,82) ^b	52 (61,17) ^e	29 (34,12) ^c	56 (65,88) ^d
TOTAL		955	93 (9,74)	129 (14,97)	733 (85,03)	151 (15,81)	804 (84,19)

Légende. N= effectif de l'échantillon ; %= pourcentage. Les valeurs arborant la même lettre ne présentent pas entre elles une différence statistiquement significative.

L'ouverture est sénestre, la columelle légèrement tordue et enroulée sur elle-même. La marge columellaire du péristome est droite et légèrement réfléchi. Toutes les coquilles ont présenté un ombilic dont la largeur est modérée sur certains spécimens (Figure 14). Les lamelles périostracales, lorsqu'elles sont visibles, sont incolores, discrètes ou fines. Le péristome est pyriforme et la partie supérieure du labre recouvre légèrement l'ouverture sur la partie terminale de la ligne de suture.

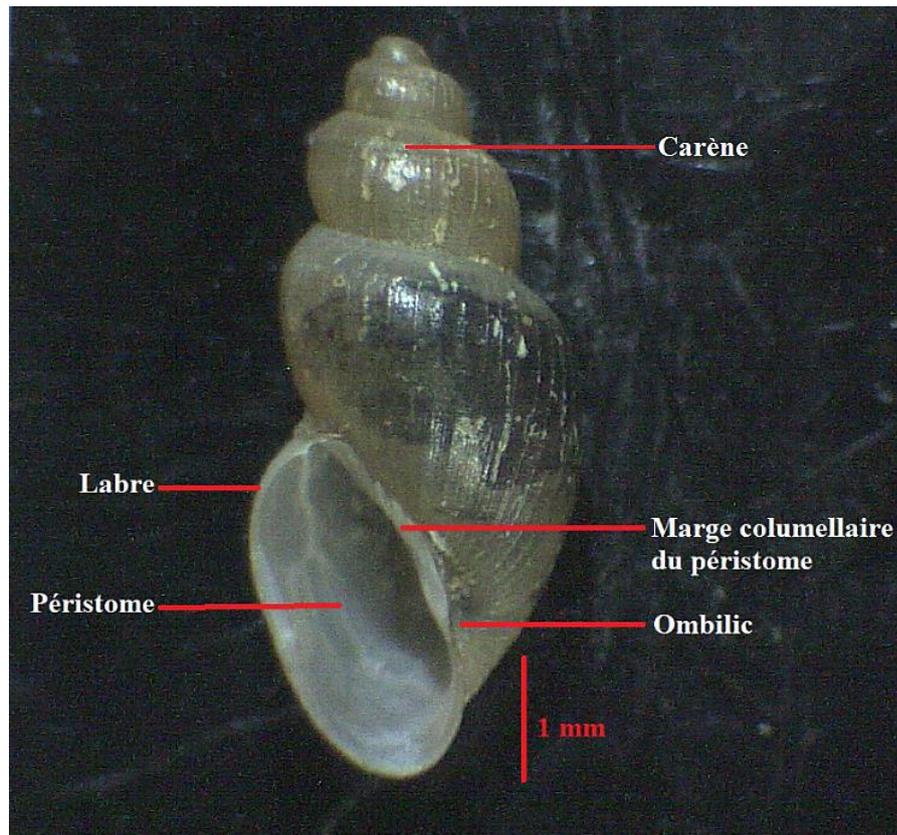


Figure 14. Caractéristiques morphologiques de la coquille de *Bulinus forskalii* s.s..

La couleur de la coquille varie progressivement de brunâtre à Sangmélina et Bokito (région équatoriale ou subéquatoriale) à la couleur brun clair ou ocre (Dang, Garoua), puis à une coloration variant du brun-ocre au blanchâtre voire même diaphane dans les régions soudano-sahéliennes (Figure 15), permettant d'observer distinctement le mollusque à l'intérieur (Figure 16, page 49).

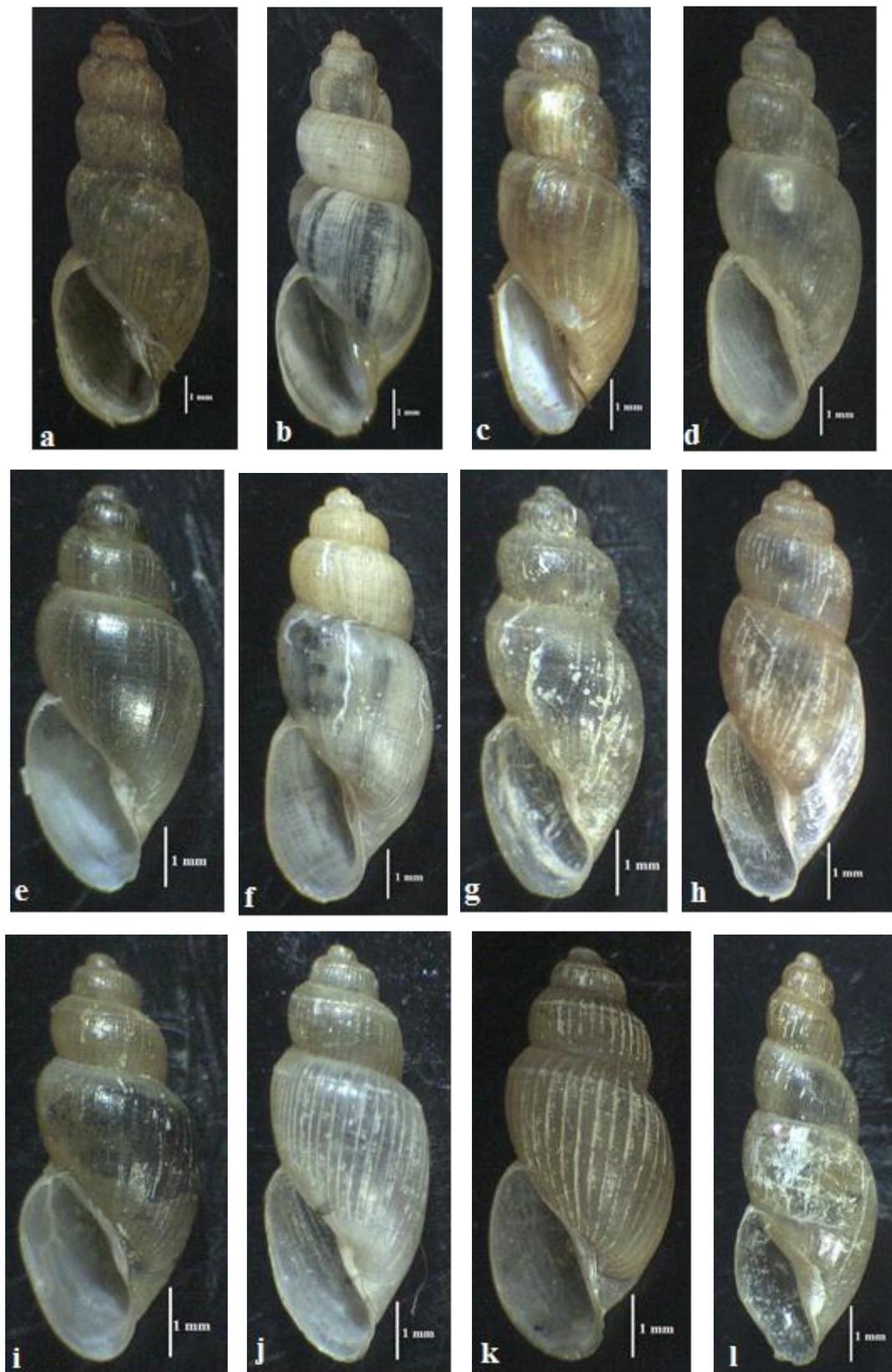


Figure 15. Morphotypes des coquilles de *Bulinus forskalii* s.s.

a. Sangmélima, b. Bokito, c. Dang, d. Garoua, e. Yagoua, f. Tchéké, g. Marao, h. Madalam, i. Sadamakou, j. Kousséri Wally, k. Kousséri Harazaye, l. Kousséri EPC. La barre d'échelle mesure **1 mm**.



Figure 16. Caractère diaphane de la coquille de *Bulinus forskalii* s.s.. La barre d'échelle mesure 1 mm.

III.1.2.2. *Bulinus senegalensis*

La coquille de *Bulinus senegalensis* est turriculée ($H \geq 2h$), avec la hauteur de l'ouverture supérieure à sa largeur ($HO > LO$) dans toutes les populations des sites de nos récoltes. Comme chez *Bulinus forskalii* s.s., la hauteur de la spire (HS) est supérieure à la hauteur de l'ouverture (HO). La columelle est légèrement tordue et enroulée sur elle-même, et la marge columellaire du péristome est légèrement droite et légèrement réfléchie (Figure 17).

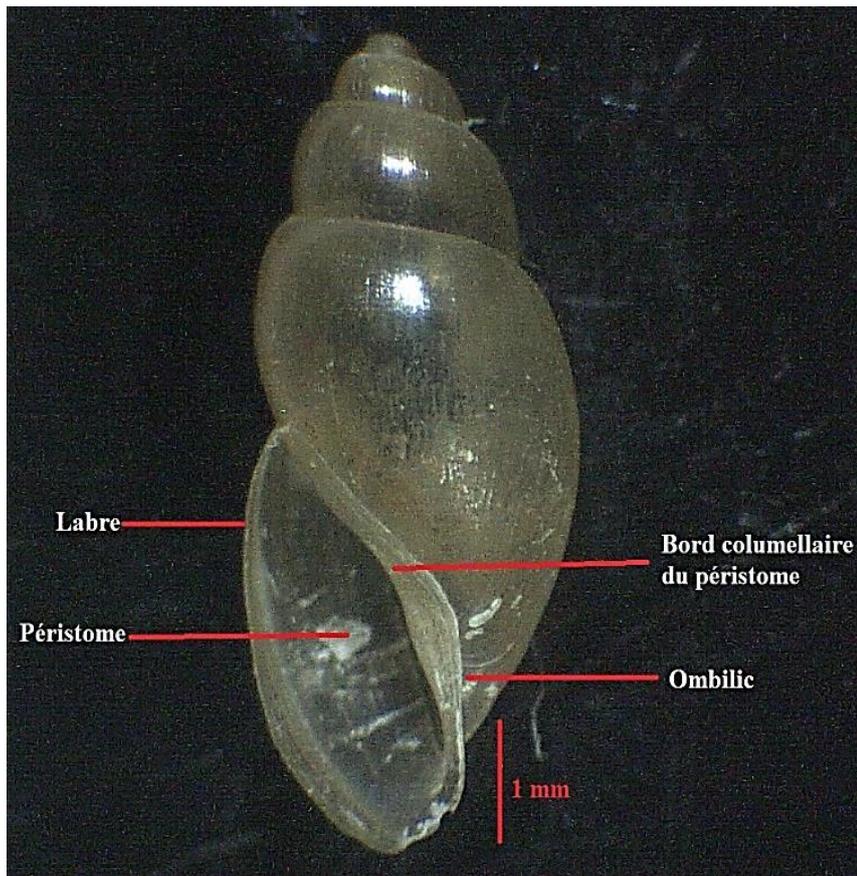


Figure 17. Caractéristiques morphologiques de la coquille de *Bulinus senegalensis*.

La spire est arrondie et sans épaulement dans toutes les coquilles examinées (Figures 17, 18, 19). Les coquilles des populations de Sadamakou-Poussi (Figure 18 c) et de Kousséri (Figure 18 g) se distinguent des autres par une spire effilée.

La coloration des coquilles varie d'une population à l'autre, apparemment en fonction du degré d'exposition du gîte au soleil. En effet, les coquilles des sites ombragés comme à Sadamakou-Poussi (Figure 18 c) ou à Kaï-Kaï (Figure 18 f), sont beaucoup plus sombres que celles des sites non-couverts où la coloration varie du brun-clair (Gabarairou : Figure 18 d, e) au blanchâtre (Madalam : Figure 18 a). Ces coquilles blanchâtres ou claires permettent d'observer distinctement les mouvements de l'animal ; celles qui sont transparentes (diaphanes) sont marquées de taches noires caractéristiques du manteau de *Bulinus senegalensis*.

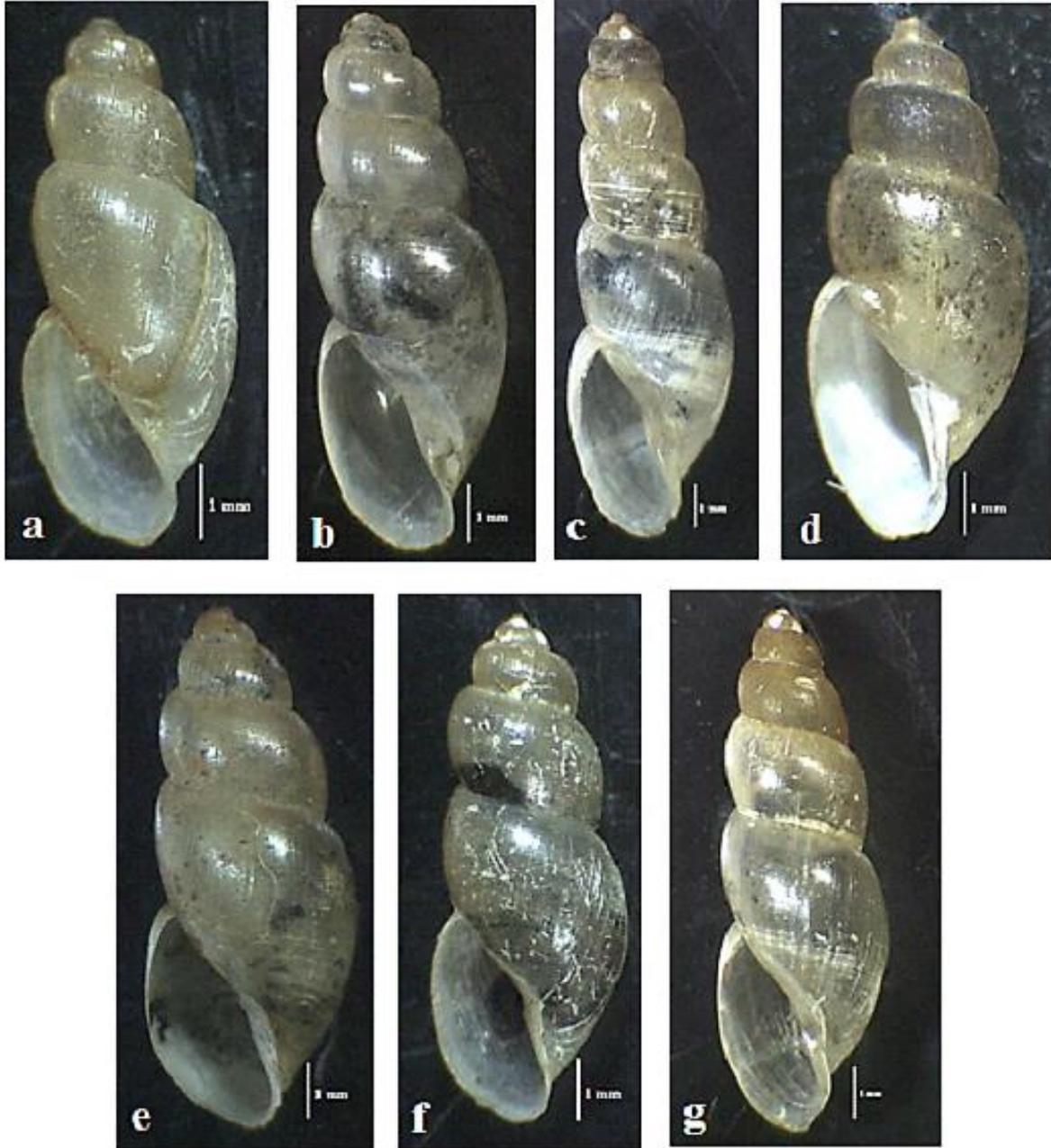


Figure 18. Morphotypes des coquilles de *Bulinus senegalensis*

a. Madalam, **b.** Sadamakou Bassali, **c.** Sadamakou Poussi, **d.** Gabarairou 1, **e.** Gabarairou 2, **f.** Kai-Kai, **g.** Kousséri. La barre d'échelle mesure 1 mm.

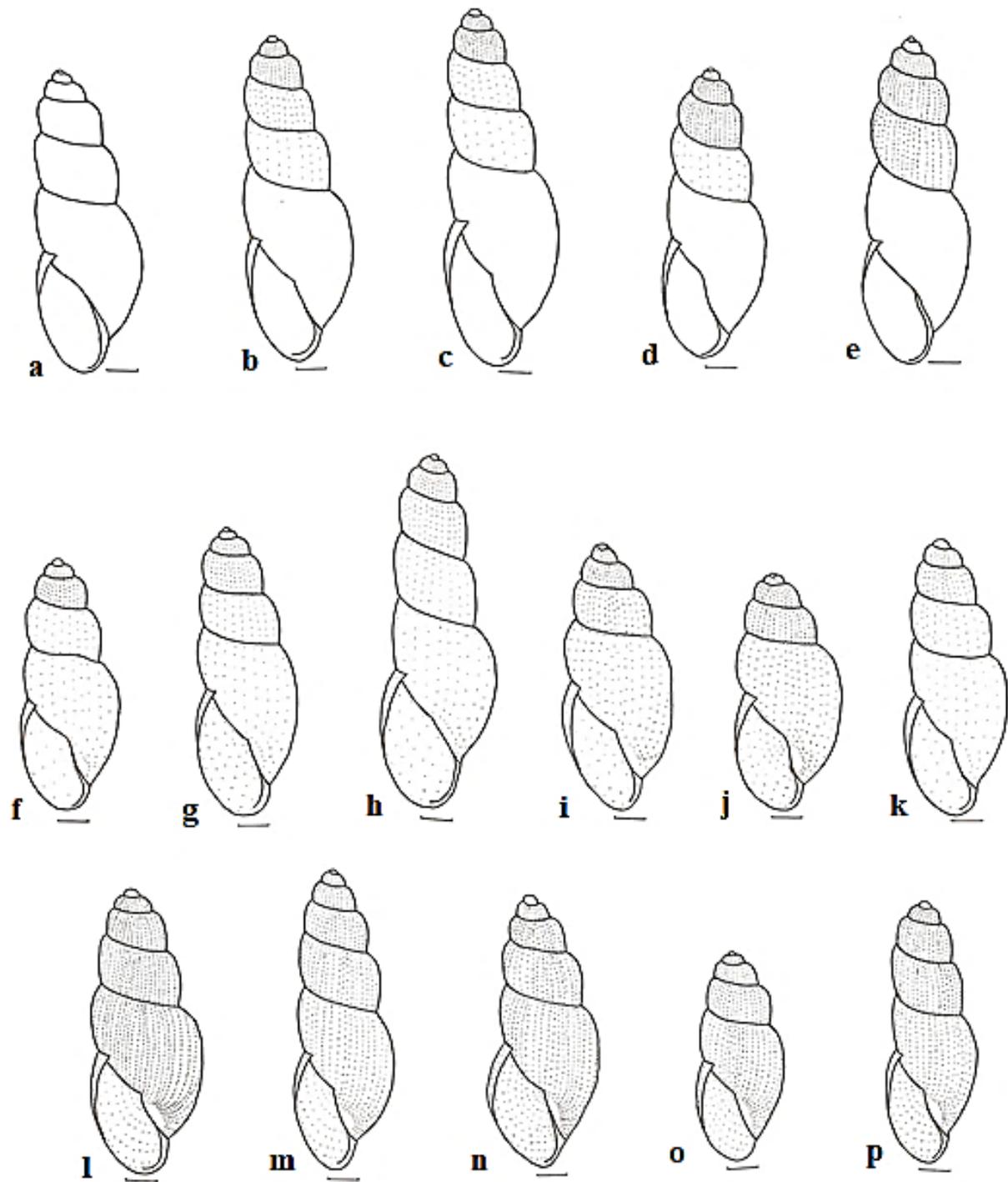


Figure 19. Ornementations de la coquille de *Bulinus senegalensis*

Coquille sans stries (a. Kousséri)

Coquilles sans stries sur le dernier tour (b. Sadamakou Bassali, c. Sadamakou Poussi, d. Kaï-Kaï, e. Kousséri)

Coquilles avec stries discrètes sur le dernier tour (f. Madalam, g. Sadamakou Bassali, h. Sadamakou Poussi, i. Gabaraïrou 1, j. Gabaraïrou 2, k. Kaï-Kaï)

Coquilles striées sur tous les tours (l. Madalam, m. Sadamakou Poussi, n. Gabaraïrou 1, o. Gabaraïrou 2, p. Kaï-Kaï)

La barre d'échelle mesure **1 mm**.

Les seuls éléments ornementaux de la coquille de *Bulinus senegalensis* sont constitués par les stries dont la distribution présente une importante variation intra- et interpopulationnelle (Figure 19 ; Tableau IV) ; ainsi, la coquille peut être lisse sans aucune striation (Kousséri), avec des stries uniquement sur les premiers tours, des stries discrètes sur le dernier tour (36,30%) ou sur tous les tours (18,90%).

Tableau IV. Distribution des fréquences de striation dans les populations de *Bulinus senegalensis*

Zones climatiques	Localités	N	Coquilles			
			Lisses (%)	Striées uniquement sur les premiers tours (%)	Stries discrètes uniquement sur le dernier tour (%)	Striées sur tous les tours (%)
Soudanienne	Sadamakou Bassali	82	00 (/)	54 (65,85) ^a	28 (34,15) ^c	00 (/)
	Sadamakou Poussi	78	00 (/)	36 (46,16) ^c	24 (30,76) ^c	18 (23,08) ^c
	Gabarairou 1	71	00 (/)	7 (9,86) ^e	35 (49,30) ^b	29 (40,84) ^a
	Gabarairou 2	67	00 (/)	10 (14,93) ^d	41 (61,19) ^a	16 (23,88) ^c
	Madalam	68	00 (/)	5 (7,35) ^e	39 (57,36) ^a	24 (35,29) ^b
	Kaï-Kaï	81	00 (/)	47 (58,03) ^b	21 (25,93) ^d	13 (16,04) ^d
Sahélienne	Kousséri Résidentiel	82	33 (40,24)	45 (54,88) ^b	4 (4,88) ^e	00 (/)
TOTAL		529	33 (6,24)	204 (38,56)	192 (36,30)	100 (18,90)
p value				<0,001	<0,001	<0,001

Légende. N= effectif de l'échantillon ; %= pourcentage. Les valeurs arborant la même lettre ne présentent pas entre elles une différence statistiquement significative.

III.1.4. Caractères morphométriques des coquilles

III.1.4.1. *Bulinus forskalii* s.s.

L'étude morphométrique de *Bulinus forskalii* s.s. a été effectuée sur 955 coquilles récoltées dans douze (12) populations naturelles des sites distribués de en zone équatoriale à Kousséri en climat sahélien.

III.1.4.1.1. Paramètres conchyliologiques

Les mensurations ont porté sur la hauteur de la coquille (H), la hauteur de la spire (HS), la hauteur de l'ouverture (HO), le diamètre maximal de la coquille (h), la largeur de l'ouverture (LO) et le nombre de tours de la spire (NT) (Tableau V).

❖ Hauteur de la coquille (H)

La hauteur maximale la plus élevée (14,58 mm) a été observée dans l'échantillon de la mare de Kousséri-EPC, et la moyenne la plus élevée par échantillon dans celui de Sangmélina (10,36 mm), avec un écart-type variant de 0,65 (Marao) à 2,03 (Kousséri-EPC).

Tableau V. Mensurations des coquilles dans les populations de *Bulinus forskalii* s.s.

Climats	Localités de récolte		H (mm)	HS (mm)	HO (mm)	h (mm)	LO (mm)	NT	
Équatorial	Sangmélima	Minimum	7,33	4,00	3,33	3,25	2,08	4,25	
		Maximum	14,15	8,92	5,94	5,00	3,70	6,90	
		N = 85	Moyenne	10,36	6,01	4,35	3,98	2,59	5,35
		Ecart type	1,33	0,92	0,49	0,35	0,25	0,62	
Subéquatorial	Bokito	Minimum	6,67	3,50	3,00	2,92	1,83	4,06	
		Maximum	11,50	7,25	4,92	4,50	3,08	5,76	
		N = 84	Moyenne	8,74	4,99	3,79	3,52	2,28	4,79
		Ecart type	1,20	0,82	0,45	0,30	0,20	0,40	
Tropical humide	Dang	Minimum	3,08	1,33	1,50	1,75	1,25	3,04	
		Maximum	11,58	6,67	4,91	4,00	2,42	6,07	
		N = 83	Moyenne	5,43	2,77	2,66	2,58	1,68	3,88
		Ecart type	1,84	1,17	0,71	0,47	0,30	0,58	
Soudanien	Garoua	Minimum	3,98	1,99	1,58	2,08	1,25	3,44	
		Maximum	10,66	5,92	5,33	4,55	3,00	5,50	
		N = 75	Moyenne	6,06	3,14	2,91	2,71	1,76	4,31
		Ecart type	1,26	0,74	0,58	0,37	0,28	0,45	
	Yagoua	Minimum	4,42	2,00	2,33	2,25	1,50	2,97	
		Maximum	9,42	5,58	3,84	3,84	2,33	4,90	
		N = 76	Moyenne	6,13	3,13	2,99	2,89	1,88	4,04
		Ecart type	0,89	0,59	0,36	0,31	0,18	0,32	
	Tchéké	Minimum	3,67	1,67	1,84	1,83	1,25	3,32	
		Maximum	9,42	5,83	4,50	3,33	2,08	5,40	
		N = 74	Moyenne	5,54	2,86	2,68	2,52	1,67	4,00
		Ecart type	1,35	0,90	0,52	0,32	0,21	0,45	
	Marao	Minimum	3,08	1,33	1,67	1,75	1,08	2,93	
		Maximum	6,08	3,17	3,16	3,25	1,83	4,73	
		N = 77	Moyenne	4,27	1,97	2,29	2,20	1,42	3,57
		Ecart type	0,65	0,41	0,30	0,22	0,14	0,35	
	Madalam	Minimum	3,17	1,25	1,33	1,75	1,25	2,85	
		Maximum	9,42	5,58	3,84	3,58	2,42	5,27	
		N = 80	Moyenne	5,34	2,84	2,50	2,43	1,64	3,89
		Ecart type	1,63	1,22	0,46	0,36	0,23	0,66	
	Sadamakou	Minimum	5,08	2,42	2,33	2,25	1,50	3,45	
		Maximum	9,17	5,92	3,58	3,08	2,00	5,16	
		N = 79	Moyenne	7,31	4,19	3,12	2,61	1,72	4,51
		Ecart type	1,03	0,77	0,32	0,19	0,14	0,40	
Sahélien	Kousséri	Minimum	2,75	1,25	1,42	1,67	1,00	2,90	
		Wally	Maximum	8,66	4,83	4,25	3,58	3,25	4,97
		N = 78	Moyenne	5,70	2,92	2,77	2,69	1,82	3,92
		Ecart type	1,73	1,01	0,75	0,59	0,49	0,49	
	Kousséri Harazaye	Minimum	2,67	1,17	1,50	1,67	1,08	3,18	
		Maximum	11,00	6,33	4,92	4,25	3,25	5,24	
		N = 79	Moyenne	6,72	3,67	3,05	2,86	1,94	4,30
		Ecart type	1,86	1,26	0,67	0,50	0,43	0,48	
	Kousséri EPC	Minimum	4,17	1,92	2,25	2,25	1,58	3,64	
		Maximum	14,58	9,42	5,17	4,00	2,67	5,72	
		N = 85	Moyenne	8,68	4,85	3,83	3,24	2,18	4,74
		Ecart type	2,03	1,45	0,62	0,38	0,28	0,50	

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ; NT = nombre de tours ; N = effectif de l'échantillon.

❖ Hauteur de la spire (HS)

La spire la plus élevée a été observée dans l'échantillon de la mare de Kousséri-EPC (9,42 mm), et la moyenne la plus élevée dans l'échantillon de Sangmélina (6,01 mm), avec un écart-type variant de 0,41 (Marao) à 1,45 (Kousséri-EPC).

❖ Hauteur de l'ouverture (HO)

La hauteur de l'ouverture (5,94 mm) ainsi que sa moyenne (4,35 mm) par échantillon les plus élevées ont été observées dans l'échantillon de Sangmélina, avec un écart-type variant de 0,30 (Marao) à 0,75 (Kousséri Wally).

❖ Diamètre de la coquille (h)

Le diamètre maximal le plus élevé (4,00 mm) a été observé dans l'échantillon de Kousséri-EPC et la moyenne par échantillon la plus élevée à Sangmélina (3,98 mm), avec un écart-type variant de 0,19 (Sadamakou) à 0,59 (Kousséri Wally).

❖ Largeur de l'ouverture (LO)

La largeur de l'ouverture (3,70 mm) et la moyenne par échantillon (2,59 mm) les plus élevées ont été observées dans l'échantillon de Sangmélina, avec un écart-type variant de 0,14 (Sadamakou) à 0,49 (Kousséri Wally).

❖ Nombre de tours (NT)

Le plus grand nombre de tours de spire de la coquille (6,90) et sa moyenne la plus élevée ont été observés dans l'échantillon de Sangmélina, avec un écart-type variant de 0,32 (Yagoua) à 0,66 (Madalam).

III.1.4.1.2. Rapports allométriques

Les résultats des rapports allométriques sont consignés dans le Tableau VI ; ont été pris en compte les rapports H/h , H/HO , NT/H et NT/h définis par Brown (1991), auxquels nous avons ajouté les rapports H/HS , H/LO , HO/h , HO/LO , HS/HO et h/LO .

Les moyennes des rapports allométriques évoluent autour de : 1,92 (1,73 – 2,03) pour H/HS ; 2,14 (1,86 – 2,38) pour H/HO ; 2,30 (1,94 – 2,80) pour H/h ; 3,49 (3,10 – 4,25) pour H/LO ; 1,52 (1,48 – 1,55) pour h/LO ; 1,14 (0,82 – 1,38) pour HS/HO ; 1,63 (1,52 – 1,82) pour HO/LO ; 1,07 (1,02 – 1,19) pour HO/h ; 0,68 (0,52 – 0,84) pour NT/H et 1,52 (1,34 – 1,73) pour NT/h (Tableau VI).

Tableau VI. Rapports allométriques des paramètres conchyliologiques de *Bulinus forskalii* s.s.

		H/HS	H/HO	H/h	H/LO	h/LO	HS/HO	HO/LO	HO/h	NT/H	NT/h	
Sangmélima	Minimum	1,59	1,88	2,11	3,26	1,35	0,88	1,38	0,91	0,41	1,08	
	Maximum	2,14	2,70	3,15	5,09	1,80	1,71	2,07	1,36	0,62	1,65	
	N = 85	Moyenne	1,73	2,38	2,60	4,01	1,54	1,38	1,68	1,09	0,52	1,34
	Ecart type	0,08	0,14	0,18	0,33	0,09	0,14	0,14	0,14	0,08	0,04	0,11
Bokito	Minimum	1,26	1,57	1,85	2,86	1,41	0,88	1,36	0,93	0,40	1,08	
	Maximum	2,14	2,71	3,07	4,90	1,80	1,71	2,07	1,34	0,78	1,61	
	N = 84	Moyenne	1,76	2,31	2,48	3,83	1,55	1,32	1,66	1,08	0,55	1,36
	Ecart type	0,10	0,15	0,21	0,36	0,08	0,13	0,14	0,08	0,06	0,10	
Dang	Minimum	1,71	1,61	1,32	1,68	1,09	0,61	0,92	0,71	0,49	1,29	
	Maximum	2,64	2,40	2,98	5,15	1,86	1,40	2,18	1,28	1,03	1,89	
	N = 83	Moyenne	2,03	2,02	2,06	3,17	1,54	1,02	1,57	1,02	0,76	1,52
	Ecart type	0,22	0,20	0,33	0,57	0,12	0,20	0,21	0,12	0,14	0,14	
Garoua	Minimum	1,59	1,79	1,70	2,56	0,97	0,79	1,06	0,71	0,40	0,95	
	Maximum	2,27	2,68	2,79	4,36	1,95	1,69	2,06	1,34	0,91	2,08	
	N = 75	Moyenne	1,94	2,08	2,23	3,43	1,55	1,08	1,65	1,07	0,73	1,61
	Ecart type	0,11	0,14	0,24	0,36	0,13	0,14	0,18	0,11	0,09	0,15	
Yagoua	Minimum	1,69	1,73	1,87	2,76	1,34	0,73	1,33	0,90	0,52	1,11	
	Maximum	2,36	2,45	2,65	4,19	1,71	1,45	1,80	1,32	0,78	1,59	
	N = 76	Moyenne	1,97	2,05	2,12	3,26	1,54	1,05	1,59	1,04	0,67	1,40
	Ecart type	0,12	0,13	0,14	0,27	0,07	0,13	0,09	0,06	0,06	0,10	
Tchéké	Minimum	1,60	1,74	1,80	2,57	1,29	0,74	1,28	0,87	0,53	1,29	
	Maximum	2,34	2,67	3,03	4,86	1,78	1,67	2,16	1,35	0,99	2,18	
	N = 74	Moyenne	1,97	2,06	2,17	3,29	1,51	1,06	1,59	1,06	0,74	1,60
	Ecart type	0,17	0,19	0,29	0,53	0,09	0,19	0,16	0,09	0,10	0,15	
Marao	Minimum	1,79	1,61	1,63	2,44	1,22	0,61	1,26	0,88	0,66	1,20	
	Maximum	2,64	2,27	2,42	3,99	1,93	1,27	2,16	1,32	1,19	2,10	
	N = 77	Moyenne	2,19	1,86	1,94	3,01	1,55	0,86	1,61	1,04	0,84	1,63
	Ecart type	0,16	0,13	0,19	0,33	0,11	0,12	0,14	0,08	0,08	0,15	
Madalam	Minimum	1,47	1,65	1,65	2,28	1,22	0,65	0,94	0,57	0,51	1,27	
	Maximum	2,54	3,14	2,97	4,53	1,73	2,13	1,90	1,29	0,95	2,03	
	N = 80	Moyenne	1,98	2,10	2,16	3,21	1,48	1,10	1,52	1,03	0,76	1,61
	Ecart type	0,27	0,34	0,38	0,66	0,10	0,34	0,16	0,09	0,12	0,16	
Sadamakou	Minimum	1,55	1,91	2,18	3,04	1,39	0,91	1,55	1,00	0,48	1,48	
	Maximum	2,10	2,82	3,28	4,83	1,67	1,82	2,06	1,33	0,78	1,99	
	N = 79	Moyenne	1,76	2,34	2,80	4,25	1,52	1,34	1,82	1,19	0,62	1,73
	Ecart type	0,10	0,18	0,25	0,39	0,06	0,17	0,11	0,07	0,06	0,10	
Kousséri Wally	Minimum	1,74	1,64	1,33	2,33	1,00	0,64	1,15	0,65	0,50	1,15	
	Maximum	2,55	2,41	2,67	4,04	2,18	1,35	1,94	1,32	1,20	1,99	
	N = 78	Moyenne	1,99	2,04	2,09	3,10	1,50	1,03	1,52	1,02	0,74	1,50
	Ecart type	0,16	0,15	0,28	0,36	0,16	0,15	0,14	0,12	0,17	0,22	
Kousséri Harazaye	Minimum	1,56	1,69	1,60	2,39	1,02	0,69	0,98	0,84	0,45	1,17	
	Maximum	2,44	2,78	3,21	4,51	1,85	1,78	1,92	1,33	1,19	1,92	
	N = 79	Moyenne	1,89	2,18	2,32	3,45	1,49	1,18	1,58	1,06	0,68	1,53
	Ecart type	0,19	0,25	0,35	0,53	0,12	0,25	0,14	0,09	0,15	0,15	
Kousséri EPC	Minimum	1,55	1,85	1,85	2,64	1,34	0,85	1,42	1,00	0,39	1,19	
	Maximum	2,17	2,82	3,65	5,46	1,73	1,82	2,16	1,46	0,87	1,70	
	N = 85	Moyenne	1,83	2,24	2,65	3,94	1,49	1,24	1,75	1,18	0,57	1,47
	Ecart type	0,14	0,20	0,38	0,57	0,09	0,20	0,16	0,10	0,10	0,12	

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ; NT = nombre de tours ; N = effectif de l'échantillon.

III.1.4.1.3. Corrélation entre la hauteur de la coquille et les autres paramètres morphométriques de la coquille de *Bulinus forskalii* s.s.

Le Tableau VII donne les valeurs du coefficient de corrélation linéaire de Pearson (r) calculées entre la hauteur (H) et les autres paramètres morphométriques de la coquille de *Bulinus forskalii* s.s. dans les échantillons de notre étude. Les valeurs obtenues évoluent de 0,66 (nombre de tours à Bokito) à 0,99 (hauteur de la spire à Dang, Kousséri EPC et Madalam), avec $p < 0,001$. Ceci montre une forte corrélation positive entre la hauteur de la coquille et les autres paramètres morphométriques. La valeur de corrélation entre la hauteur de la coquille et la latitude des sites de récolte est fortement négative de -0,57 ($p=0,04$).

Tableau VII. Valeurs du coefficient de corrélation (r) entre la hauteur de la coquille (H) et les autres paramètres morphométriques chez *Bulinus forskalii* s.s.

Zones climatiques	Localités de récolte	Corrélations					H et
		H et HS	H et HO	H et h	H et LO	H et NT	Latitude
Équatoriale	Sangmélima	0,97	0,89	0,83	0,76	0,86	
Subéquatoriale	Bokito	0,94	0,84	0,81	0,72	0,66	
Tropicale Humide	Dang	0,99	0,96	0,95	0,91	0,91	
Soudanienne	Garoua	0,97	0,95	0,89	0,85	0,77	
	Yagoua	0,96	0,89	0,89	0,82	0,81	
	Tchéké	0,97	0,91	0,87	0,74	0,92	-0,57
	Marao	0,94	0,89	0,79	0,68	0,79	($p=0,04$)
	Madalam	0,99	0,92	0,91	0,83	0,92	
	Sadamakou	0,98	0,86	0,86	0,82	0,81	
Sahélienne	Kousséri Harazaye	0,99	0,97	0,94	0,93	0,91	
	Kousséri Wally	0,98	0,93	0,91	0,84	0,89	
	Kousséri EPC	0,99	0,96	0,88	0,86	0,86	

Probabilité p pour toutes ces valeurs du coefficient de corrélation (r) inférieures à 0,001, sauf pour H et latitude.

III.1.4.2. *Bulinus senegalensis*

L'étude morphométrique de *Bulinus senegalensis* a été effectuée sur 529 coquilles récoltées dans sept (7) populations naturelles distribuées en zone soudano-sahélienne de Madalam (10.50954N-014.93043E) à Kousséri (12.10885N- 015.02521E).

III.1.4.2.1. Paramètres conchyliologiques

Comme pour *Bulinus forskalii* s.s., les mensurations ont porté sur la hauteur de la coquille (H), la hauteur de la spire (HS), la hauteur de l'ouverture (HO), le diamètre maximal de la coquille (h), la largeur de l'ouverture (LO) et le nombre de tours de la spire (NT) (Tableau VIII).

Tableau VIII. Mensurations des coquilles dans différentes populations de *Bulinus senegalensis*

Localités		H (mm)	HS (mm)	HO (mm)	h (mm)	LO (mm)	NT	
Sadamakou Bassali	Minimum	5,42	2,84	2,42	2,33	1,50	3,97	
	Maximum	11,25	7,08	4,92	3,83	2,58	6,07	
	N = 82	Moyenne	8,01	4,65	3,38	2,87	1,91	4,84
	Ecart type	1,10	0,78	0,43	0,32	0,21	0,44	
Sadamakou Poussi	Minimum	5,00	2,50	2,17	2,42	1,50	3,58	
	Maximum	12,00	7,33	4,83	4,00	2,75	6,19	
	N = 78	Moyenne	9,05	5,39	3,67	3,24	2,13	5,17
	Ecart type	1,52	1,03	0,55	0,35	0,24	0,54	
Gabaraïrou 1	Minimum	3,66	1,58	1,43	2,00	1,17	3,17	
	Maximum	7,75	4,25	3,50	5,50	2,58	4,89	
	N = 71	Moyenne	4,60	2,27	2,32	2,48	1,58	3,68
	Ecart type	0,99	0,62	0,45	0,50	0,32	0,38	
Gabaraïrou 2	Minimum	3,34	1,67	1,50	1,83	1,08	2,95	
	Maximum	9,58	5,58	4,17	3,83	2,50	5,38	
	N = 67	Moyenne	6,38	3,40	2,98	2,90	1,87	4,17
	Ecart type	2,04	1,20	0,87	0,63	0,43	0,73	
Madalam	Minimum	2,92	1,25	1,50	1,67	1,08	2,83	
	Maximum	9,42	5,50	3,92	3,42	2,08	5,03	
	N = 68	Moyenne	4,33	2,19	2,14	2,13	1,42	3,53
	Ecart type	1,47	0,98	0,52	0,41	0,26	0,56	
Kaï – Kaï	Minimum	2,92	1,25	1,50	1,75	1,17	3,00	
	Maximum	12,66	7,83	4,33	4,25	3,08	5,61	
	N = 81	Moyenne	6,44	3,49	2,95	2,80	1,90	4,20
	Ecart type	2,07	1,47	0,62	0,50	0,38	0,72	
Kousséri Résidentiel	Minimum	5,00	2,25	2,50	1,68	1,50	4,05	
	Maximum	10,67	6,83	4,00	3,75	2,33	6,09	
	N = 82	Moyenne	7,37	4,21	3,14	2,85	1,90	4,76
	Ecart type	1,43	1,06	0,44	0,35	0,22	0,50	

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ; NT = nombre de tours ; N = effectif de l'échantillon.

❖ **Hauteur de la coquille (H)**

La hauteur de la coquille la plus élevée (12,66 mm) a été observée dans l'échantillon de Kaï-Kaï et la moyenne par échantillon la plus élevée (9,05 mm) dans celui de Sadamakou Poussi, l'écart-type variant de 0,99 (Gabaraïrou 1) à 2,07 (Kaï-Kaï).

❖ **Hauteur de la spire (HS)**

La hauteur de la spire la plus élevée (7,83 mm) a été observée dans l'échantillon de Kaï-Kaï et la moyenne par échantillon la plus élevée (5,39 mm) dans celui de Sadamakou Poussi, l'écart-type variant de 0,62 (Gabaraïrou 1) à 1,47 (Kaï-Kaï).

❖ **Hauteur de l'ouverture (HO)**

La hauteur de l'ouverture la plus élevée (4,92 mm) a été observée dans l'échantillon de Sadamakou Bassali, et la moyenne par échantillon la plus élevée dans celui de Sadamakou Poussi (3,67 mm), l'écart-type variant de 0,43 (Sadamakou Bassali) à 0,62 (Kaï-Kaï).

❖ **Diamètre maximal de la coquille (h)**

Le diamètre de la coquille le plus élevé (5,50 mm) a été observé dans l'échantillon de Gabaraïrou 1 et la moyenne par échantillon la plus élevée (3,24 mm) dans celui de Sadamakou Poussi, l'écart-type variant de 3,32 (Sadamakou Bassali) à 0,50 (Gabaraïrou 1 et Kaï-Kaï).

❖ **Largeur de l'ouverture (LO)**

La largeur de l'ouverture maximale (3,08 mm) a été observée dans l'échantillon de Kaï-Kaï et la moyenne par échantillon la plus élevée (2,13 mm) dans celui de Sadamakou Poussi, l'écart-type variant de 0,21 (Sadamakou Bassali) à 0,43 (Gabaraïrou 2).

❖ **Nombre de tours (NT)**

Le plus grand nombre de tours de la coquille (6,19) a été observé dans l'échantillon de Sadamakou Poussi et la moyenne par échantillon la plus élevée (5,17) aussi, l'écart-type a varié de 0,38 (Gabaraïrou 1) à 0,73 (Gabaraïrou 2).

III.1.4.2.2. Rapports allométriques

Les résultats des rapports allométriques sont consignés dans le Tableau IX ; ont été pris en compte les rapports H/h, H/HO, NT/H et NT/h définis par Brown (1991), auxquels nous avons ajouté les rapports H/HS, H/LO, HO/h, HO/LO, HS/HO et h/LO.

Les moyennes des rapports allométriques évoluent autour de : 1,88 (1,69 – 2,06) pour H/HS ; 2,20 (1,98 – 2,46) pour H/HO ; 2,34 (1,86 – 2,79) pour H/h ; 3,55 (2,92 – 4,25) pour H/LO ; 1,52 (1,48 – 1,58) pour h/LO ; 1,20 (0,98 – 1,47) pour HS/HO ; 1,61 (1,48 – 1,78) pour HO/LO ; 1,06 (0,94 – 1,18) pour HO/h ; 0,70 (0,61 – 0,85) pour NT/H et 1,58 (1,46 – 1,68) pour NT/h (Tableau IX).

Tableau IX. Rapports allométriques des paramètres conchyliologiques de *Bulinus senegalensis*

Localités		H/HS	H/HO	H/h	H/LO	h/LO	HS/HO	HO/LO	HO/h	NT/H	NT/h	
Sadamakou	Minimum	1,57	2,00	2,24	3,23	1,26	1,05	1,27	0,97	0,47	1,27	
	Bassali	1,96	2,74	3,49	5,10	1,67	1,74	2,28	1,56	0,73	2,11	
	N = 82	Moyenne	1,73	2,37	2,79	4,21	1,51	1,38	1,78	1,18	0,61	1,67
	Ecart type	0,10	0,18	0,28	0,39	0,09	0,18	0,16	0,11	0,06	0,19	
Sadamakou	Minimum	1,56	1,98	2	3	1,24	1	1,23	0,841	0,44	1,24	
	Poussi	2,00	2,79	3,49	5,24	1,76	1,79	2,24	1,48	0,79	1,97	
	N = 78	Moyenne	1,69	2,46	2,78	4,25	1,53	1,47	1,73	1,13	0,58	1,60
	Ecart type	0,09	0,17	0,30	0,50	0,11	0,17	0,18	0,11	0,07	0,13	
Gabarairou1	Minimum	1,74	1,65	1,32	1,84	0,97	0,65	1,00	0,61	0,60	0,81	
	Maximum	2,53	2,62	2,35	3,63	2,27	1,35	1,73	1,08	0,94	1,78	
	N = 71	Moyenne	2,06	1,98	1,86	2,92	1,58	0,98	1,48	0,94	0,82	1,51
	Ecart type	0,19	0,18	0,16	0,28	0,16	0,17	0,12	0,09	0,09	0,13	
Gabarairou 2	Minimum	1,68	1,71	1,64	2,14	1,19	0,71	1,10	0,72	0,51	1,17	
	Maximum	2,42	2,48	2,92	4,39	1,82	1,48	1,85	1,27	1,02	1,81	
	N = 67	Moyenne	1,91	2,13	2,15	3,34	1,56	1,12	1,57	1,01	0,69	1,46
	Ecart type	0,14	0,16	0,29	0,49	0,12	0,16	0,18	0,12	0,14	0,13	
Madalam	Minimum	1,63	1,65	1,67	2,38	1,23	0,65	1,28	0,86	0,53	1,47	
	Maximum	2,54	2,59	2,75	4,53	1,65	1,59	1,89	1,19	1,07	1,87	
	N = 68	Moyenne	2,05	1,99	1,99	2,99	1,51	0,99	1,50	0,99	0,85	1,66
	Ecart type	0,22	0,22	0,27	0,45	0,09	0,22	0,13	0,09	0,13	0,10	
Kaï - Kaï	Minimum	1,50	1,61	1,50	2,19	0,94	0,61	1,00	0,84	0,41	1,21	
	Maximum	2,64	2,92	3,00	4,63	1,63	1,81	1,84	1,24	1,08	1,90	
	N = 81	Moyenne	1,94	2,14	2,24	3,31	1,48	1,14	1,55	1,05	0,69	1,51
	Ecart type	0,27	0,29	0,38	0,56	0,09	0,29	0,14	0,08	0,14	0,11	
Kousséri	Minimum	1,53	2,00	2,03	2,97	1,00	1,00	1,39	0,97	0,48	1,43	
	Maximum	2,12	2,78	3,31	5,17	1,67	1,78	2,00	1,49	0,82	2,43	
	N = 82	Moyenne	1,78	2,33	2,57	3,85	1,50	1,32	1,65	1,11	0,66	1,68
	Ecart type	0,13	0,21	0,29	0,46	0,11	0,19	0,12	0,10	0,07	0,17	

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ; NT = nombre de tours ; N = effectif de l'échantillon.

III.1.4.2.3. Corrélation entre la hauteur de la coquille et les autres paramètres morphométriques de la coquille de *Bulinus senegalensis*

Le Tableau X donne les valeurs du coefficient de corrélation linéaire de Pearson (r) calculées entre la hauteur et les autres paramètres morphométriques des coquilles de *Bulinus senegalensis* dans les échantillons de notre étude. Les valeurs obtenues évoluent de 0,67 (nombre de tours à Sadamakou Bassali) à 0,99 (hauteur de la spire à Gabarairou 2, Madalam et Kaï-Kaï), avec $p < 0,001$. Ceci montre une forte corrélation entre la hauteur de la coquille et les autres paramètres morphométriques. Toutefois, aucune corrélation n'existe entre la hauteur de la coquille de *Bulinus senegalensis* et la latitude ($r = 0,16$; $p = 0,73$).

Tableau X. Valeurs du coefficient de corrélation (r) entre la hauteur de la coquille et les autres paramètres morphométriques chez *Bulinus senegalensis*

Zones climatiques	Localités de récolte	Corrélations					H et Latitude
		H et HS	H et HO	H et h	H et LO	H et NT	
Soudanienne	Sadamakou Bassali	0,95	0,84	0,73	0,70	0,67	
	Sadamakou Poussi	0,98	0,92	0,84	0,75	0,85	
	Gabarairou 1	0,96	0,91	0,84	0,85	0,91	
	Gabarairou 2	0,99	0,98	0,97	0,92	0,96	0,16 ($p=0,73$)
	Madalam	0,99	0,96	0,98	0,94	0,95	
	Kaï-Kaï	0,99	0,96	0,96	0,90	0,93	
Sahélienne	Kousséri	0,97	0,90	0,85	0,82	0,86	

Probabilité p pour toutes ces valeurs du coefficient de corrélation (r) inférieure à 0,001, sauf pour H et latitude.

III.1.5. Comparaisons des variables quantitatives des coquilles entre les différentes populations

III.1.5.1. *Bulinus forskalii* s.s.

III.1.5.1.1. Comparaison des mensurations des paramètres morphométriques des coquilles

Nous présentons au Tableau XI les résultats de l'analyse des variances (ANOVA) portant sur les mensurations des coquilles de différentes populations de *Bulinus forskalii* s.s..

Les résultats obtenus dans cette analyse montrent que les moyennes des paramètres étudiés diffèrent significativement dans l'ensemble ($p < 0,0001$). À cet effet, ces moyennes ont

été comparées deux à deux par le test post hoc de Tukey pour une meilleure différenciation des échantillons.

Tableau XI. Analyse des variances (ANOVA) des mensurations des paramètres morphométriques de *Bulinus forskalii* s.s. du Cameroun

Paramètres	Origine	ddl	F	Signification
H	VIC	11	119,10	p < 0,0001
	VR	943		
HS	VIC	11	114,70	p < 0,0001
	VR	943		
HO	VIC	11	105,00	p < 0,0001
	VR	943		
h	VIC	11	141,80	p < 0,0001
	VR	943		
LO	VIC	11	110,80	p < 0,0001
	VR	943		
NT	VIC	11	86,33	p < 0,0001
	VR	943		
H/HS	VIC	11	55,20	p < 0,0001
	VR	943		
H/HO	VIC	11	51,31	p < 0,0001
	VR	943		
H/h	VIC	11	74,12	p < 0,0001
	VR	943		
H/LO	VIC	11	64,71	p < 0,0001
	VR	943		
h/LO	VIC	11	4,92	p < 0,0001
	VR	943		
HS/HO	VIC	11	53,49	p < 0,0001
	VR	943		
HO/LO	VIC	11	27,65	p < 0,0001
	VR	943		
HO/h	VIC	11	30,02	p < 0,0001
	VR	943		
NT/H	VIC	11	73,80	p < 0,0001
	VR	943		
NT/h	VIC	11	54,14	p < 0,0001
	VR	943		

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ; NT = nombre de tours ; N

= effectif de l'échantillon ; VIC= variance interclasse ; VR= variance résiduelle ; ddl= nombre de degrés de liberté ; F= valeur calculée du test ; p = probabilité.

III.1.5.1.2. Comparaisons binaires

Nous présentons au Tableau XII une matrice de synthèse des comparaisons binaires effectuées ainsi que les différents regroupements observés entre les échantillons de *Bulinus forskalii* s.s.. Nous observons de nombreux regroupements entre les populations, de Bokito à Kousséri. Pour les paramètres conchyliologiques H, HS, HO, h, LO et NT, les échantillons de Dang, Garoua, Yagoua, Tchéké, Madalam et Kousséri Wally ont présenté des moyennes statistiquement semblables à celles d'autres échantillons, sans aucune particularité. Ainsi, les échantillons de Garoua, Yagoua et Kousséri Wally tout comme ceux de Dang, Tchéké et Madalam ont formé deux regroupements distincts pour chacun des paramètres conchyliologiques. Toutefois, certaines populations se sont avérées isolées des autres à chacun des caractères : pour la hauteur de la coquille (Kousséri Harazaye, Marao, Sadamakou, Sangmélima), pour la hauteur de la spire (Kousséri Harazaye, Marao, Sadamakou, Sangmélima), pour la hauteur de l'ouverture (Marao, Sadamakou, Sangmélima), pour le diamètre maximal (Bokito, Kousséri-EPC, Marao, Sangmélima), pour la largeur de l'ouverture (Bokito, Kousséri-EPC, Marao, Sangmélima) et pour le nombre de tours (Marao, Sangmélima).

L'échantillon de Sangmélima a présenté les moyennes les plus élevées pour chacun des paramètres morphométriques et ne s'est montré statistiquement semblable avec aucun autre échantillon, tout comme l'échantillon de Marao qui a montré les moyennes les plus basses. Les échantillons de Bokito (climat subéquatorial) et de Kousséri EPC (climat sahélien classique) ont formé un regroupement pour la hauteur de la coquille (H), la hauteur de la spire (HS), la hauteur de l'ouverture (HO) et le nombre de tours de spire (NT), et une infime différence statistique pour le diamètre maximal (h) et la largeur de l'ouverture (LO). Ces deux échantillons se rapprochent de l'échantillon de Sangmélima (climat équatorial). À l'exception des échantillons de Dang, Sadamakou, Kousséri-EPC et Kousséri Harazaye, la moyenne de la hauteur des coquilles dans les échantillons, pour ne considérer que la partie entière, diminue progressivement de Sangmélima à Kousséri Wally, suggérant l'existence d'un morphocline : Sangmélima (10,36 mm), Bokito (8,74 mm), Garoua (6,06 mm), Yagoua (6,13 mm), Tchéké (5,54 mm), Madalam (5,34 mm), Kousséri Wally (5,70 mm).

Tableau XII. Matrice des comparaisons binaires des paramètres conchyliologiques mesurés entre les populations de *Bulinus forskalii* s.s.

Variables	Localités												p value
	Sangmélima	Bokito	Dang	Garoua	Yagoua	Tchéké	Marao	Madalam	Sadamakou	Kousséri Wally	Kousséri Harazaye	Kousséri EPC	
H	10,36±0,14 ^a	8,74±0,13 ^b	5,43±0,20 ^f	6,06±0,15 ^e	6,13±0,10 ^e	5,54±0,16 ^f	4,27±0,07 ^g	5,34±0,18 ^f	7,31±0,12 ^c	5,70±0,20 ^e	6,72±0,21 ^d	8,68±0,22 ^b	< 0,001
HS	6,01±0,10 ^a	4,99±0,09 ^b	2,77±0,13 ^e	3,14±0,09 ^d	3,13±0,07 ^d	2,86±0,10 ^e	1,97±0,05 ^f	2,84±0,14 ^e	4,19±0,09 ^c	2,92±0,11 ^{d,e}	3,67±0,14 ^d	4,85±0,16 ^b	< 0,001
NT	5,35±0,07 ^a	4,79±0,04 ^b	3,88±0,01 ^f	4,31±0,05 ^d	4,04±0,04 ^e	4,00±0,05 ^{e,f}	3,57±0,04 ^g	3,89±0,07 ^{e,f}	4,51±0,05 ^c	3,92±0,06 ^{e,f}	4,30±0,05 ^d	4,74±0,05 ^b	< 0,001
HO	4,35±0,05 ^a	3,79±0,05 ^b	2,66±0,08 ^f	2,91±0,07 ^{d,e}	2,99±0,04 ^d	2,68±0,06 ^{e,f}	2,29±0,04 ^g	2,50±0,05 ^f	3,12±0,04 ^c	2,77±0,08 ^e	3,05±0,08 ^{c,d}	3,83±0,07 ^b	< 0,001
H/LO	4,01±0,04 ^b	3,83±0,04 ^c	3,17±0,06 ^{e,f}	3,43±0,04 ^d	3,26±0,03 ^e	3,29±0,06 ^{d,e}	3,01±0,04 ^f	3,21±0,07 ^e	4,25±0,04 ^a	3,10±0,04 ^f	3,45±0,06 ^d	3,94±0,06 ^{b,c}	< 0,001
h	3,98±0,04 ^a	3,52±0,03 ^b	2,58±0,05 ^{f,g}	2,71±0,04 ^e	2,89±0,04 ^d	2,52±0,04 ^{g,h}	2,20±0,03 ⁱ	2,43±0,04 ^h	2,61±0,02 ^f	2,69±0,07 ^{e,f}	2,86±0,06 ^d	3,24±0,04 ^c	< 0,001
H/h	2,60±0,02 ^b	2,48±0,02 ^c	2,06±0,04 ^f	2,23±0,03 ^{d,e}	2,12±0,02 ^e	2,17±0,03 ^e	1,94±0,02 ^g	2,16±0,04 ^e	2,80±0,03 ^a	2,09±0,03 ^f	2,32±0,04 ^d	2,65±0,04 ^b	< 0,001
LO	2,59±0,03 ^a	2,28±0,02 ^b	1,68±0,03 ^{e,f}	1,76±0,03 ^e	1,88±0,02 ^d	1,67±0,02 ^{e,f}	1,42±0,02 ^g	1,64±0,03 ^f	1,72±0,02 ^{e,f}	1,82±0,05 ^{d,e}	1,94±0,05 ^d	2,18±0,03 ^c	< 0,001
H/HO	2,38±0,02 ^a	2,32±0,01 ^b	2,02±0,02 ^e	2,08±0,02 ^e	2,05±0,01 ^e	2,06±0,02 ^e	1,86±0,01 ^f	2,10±0,04 ^{d,e}	2,34±0,02 ^{a,b}	2,04±0,02 ^e	2,18±0,03 ^d	2,24±0,02 ^c	< 0,001
H/HS	1,73±0,01 ^g	1,76±0,01 ^f	2,03±0,02 ^b	1,94±0,01 ^c	1,97±0,01 ^{c,d}	1,97±0,02 ^c	2,19±0,02 ^a	1,98±0,03 ^{b,c}	1,76±0,01 ^f	1,99±0,02 ^{b,c}	1,89±0,02 ^d	1,83±0,01 ^e	< 0,001
HO/LO	1,68±0,02 ^c	1,66±0,02 ^c	1,57±0,02 ^{d,e}	1,65±0,02 ^{c,d}	1,59±0,01 ^d	1,59±0,02 ^d	1,61±0,02 ^d	1,52±0,01 ^e	1,82±0,01 ^a	1,52±0,02 ^e	1,58±0,02 ^d	1,75±0,02 ^b	< 0,001
h/LO	1,54±0,01 ^{a,b}	1,55±0,01 ^a	1,54±0,01 ^{a,b}	1,55±0,02 ^a	1,56±0,01 ^a	1,51±0,01 ^{b,c}	1,55±0,01 ^a	1,48±0,01 ^c	1,52±0,01 ^{a,b}	1,50±0,02 ^{b,c}	1,49±0,01 ^c	1,49±0,01 ^c	< 0,001
HS/HO	1,38±0,01 ^a	1,32±0,01 ^b	1,02±0,02 ^e	1,08±0,02 ^{d,e}	1,05±0,01 ^e	1,06±0,02 ^e	0,86±0,01 ^f	1,10±0,04 ^{d,e}	1,34±0,02 ^b	1,03±0,02 ^e	1,18±0,03 ^{c,d}	1,24±0,02 ^c	< 0,001
NT/h	1,34 ±0,01 ^f	1,36±0,01 ^f	1,52±0,02 ^c	1,61±0,02 ^b	1,40±0,01 ^e	1,60±0,02 ^b	1,63±0,02 ^b	1,61±0,02 ^b	1,76±0,01 ^a	1,50±0,02 ^{c,d}	1,53±0,02 ^c	1,47±0,01 ^d	< 0,001
HO/h	1,09±0,01 ^b	1,08±0,01 ^{b,c}	1,02±0,01 ^c	1,07±0,01 ^{b,c}	1,04±0,01 ^c	1,06±0,01 ^c	1,04±0,01 ^c	1,03±0,01 ^c	1,19±0,01 ^a	1,02±0,01 ^c	1,06±0,01 ^c	1,18±0,01 ^a	< 0,001
NT/H	0,52±0,01 ^f	0,55±0,01 ^e	0,76±0,02 ^b	0,73±0,01 ^b	0,67±0,01 ^c	0,74±0,01 ^b	0,84±0,01 ^a	0,76±0,01 ^b	0,62±0,01 ^d	0,76±0,02 ^b	0,68±0,02 ^c	0,57±0,01 ^e	< 0,001

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ; NT = nombre de tours. Les données de ce tableau sont présentées sous la forme moyenne ± erreur standard. Les valeurs arborant la même lettre ne présentent pas entre elles une différence statistiquement significative.

Les moyennes des rapports entre les différents paramètres morphométriques présentent des valeurs dont la marge de variation entre les échantillons semble relativement réduite. La comparaison des moyennes par le test post-hoc de Tukey a donné plusieurs regroupements statistiques. Les échantillons de Dang, Garoua, Yagoua, Tchéké, Madalam et Kousséri Wally ont présenté des moyennes statistiquement semblables à celles d'autres échantillons à tous les paramètres sans aucune particularité (Tableau XII) ; d'autres ont présenté des particularités à certains paramètres à Bokito (H/h), Kousséri Harazaye (H/HS), Kousséri Wally (HO/LO), Kousséri-EPC (H/HS), Sangmélima (HS/HO, NT/H), Marao (H/HO, H/h, NT/H) et Sadamakou (H/h, HO/LO, NT/H, NT/h). Aucune population n'a été observée totalement isolée des autres.

III.1.5.1.3. Analyse en composantes principales (ACP)

Le critère du Cattell a permis de retenir deux facteurs (F_1 et F_2) considérés comme plus déterminants dans cette analyse car ils ont expliqué 96,54% de la variance totale entre les différents paramètres des populations étudiées (Figure 20). Les deux premiers facteurs ont justifié respectivement 64,05% et 12,99% de cette variance, soit un total de 77,04% de la variabilité.

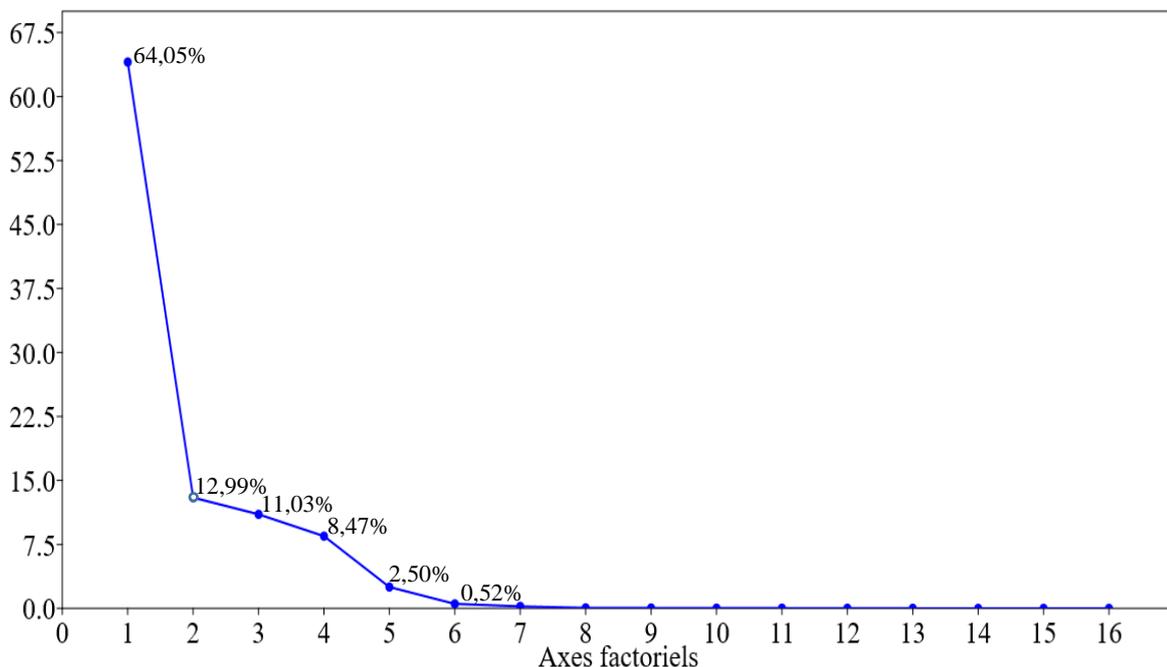


Figure 20. Tracé des valeurs propres des axes factoriels pour *Bulinus forskalii* s.s..

NB. Les pourcentages portés dans la figure indiquent le taux de variance expliqué par chaque valeur propre.

L'information n'a pas paru équitable entre les variables actives, certaines d'entre-elles comme H, HS, h, NT, h/LO, NT/H, H/HS et H/h ayant été plus proches du cercle de corrélation réalisé sur les axes factoriels 1 et 2. Ainsi, les variables NT/H et H/HS, diamétralement opposés à H, HS, NT et H/h sur l'axe factoriel 1, tout comme h et h/LO sur l'axe factoriel 2 ont fortement contribué à la discrimination des échantillons de *Bulinus forskalii* s.s. (Figure 21).

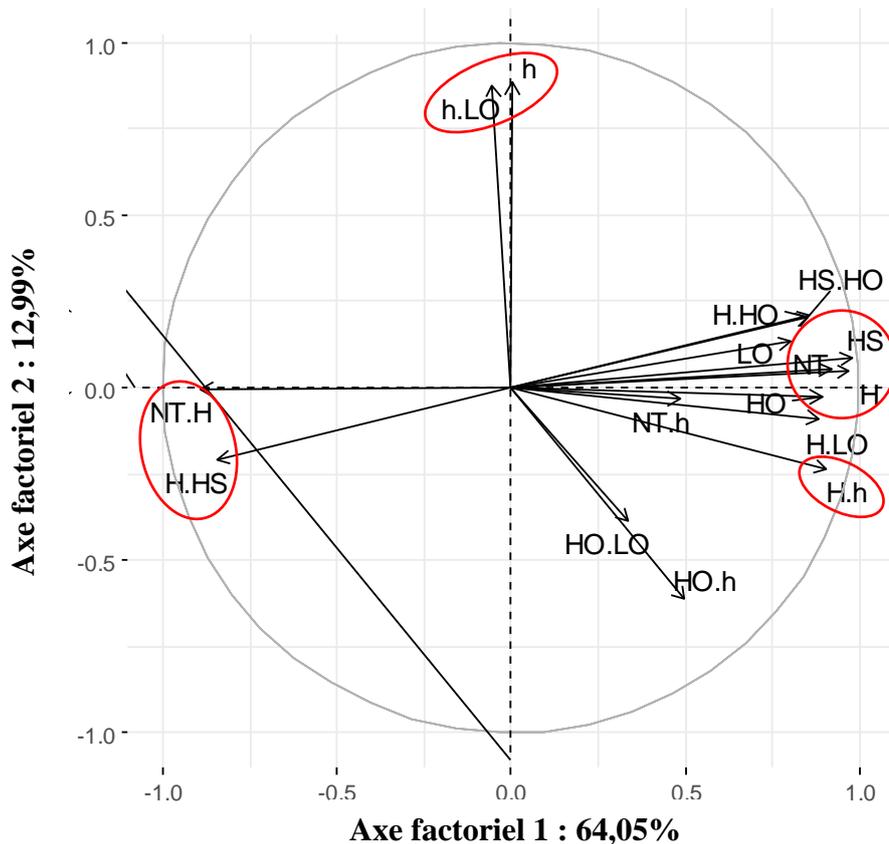


Figure 21. Projection des variables sur les axes factoriels 1 et 2.

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ; NT = nombre de tours ; N = effectif de l'échantillon.

Le long de l'axe factoriel 1, les échantillons se séparent en deux groupes : le premier groupe, celui des échantillons de Sangmélima, Bokito et Kousséri EPC, est diamétralement opposé au deuxième groupe formé par les échantillons de Dang, Garoua, Yagoua, Marao, Tchéké, Madalam et Kousséri Wally. Dans le premier groupe, les coquilles peuvent être qualifiées de type équatorial et dans le second les coquilles sont dites de type soudano-sahélien. L'échantillon de Sadamakou s'isole des autres sur cette figure (Figure 22).

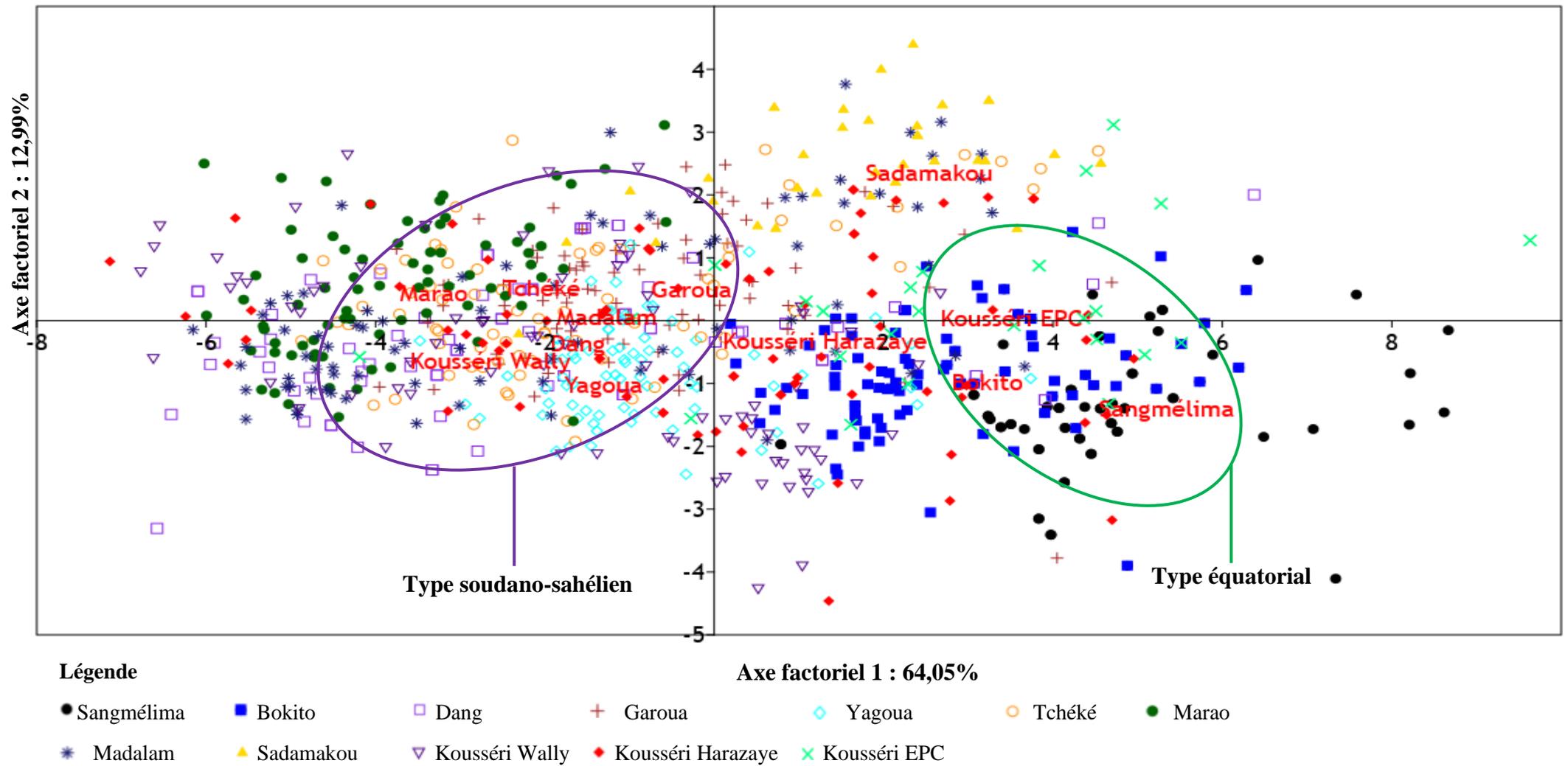


Figure 22. ACP des mensurations des différentes variables explicatives de la coquille de *Bulinus forskalii* s.s. représentées sur les axes factoriels 1 et 2.

L'analyse a été poursuivie en générant un dendrogramme utilisant la méthode du Neighbour-joining avec 1000 répliques et en plaçant l'échantillon de la population de Sadamakou comme groupe externe. Les échantillons des coquilles de type équatorial et ceux des coquilles de type soudano-sahélien se ségrégent en deux clades distincts (Figure 23), les valeurs des nœuds étant de 99 et 100. Dans le clade des coquilles de type équatorial, l'échantillon de Kousséri EPC s'associe à ceux de Bokito et Sangmélina. Dans le deuxième clade, l'échantillon de Kousséri Harazaye s'associe à ceux de type soudano-sahélien.

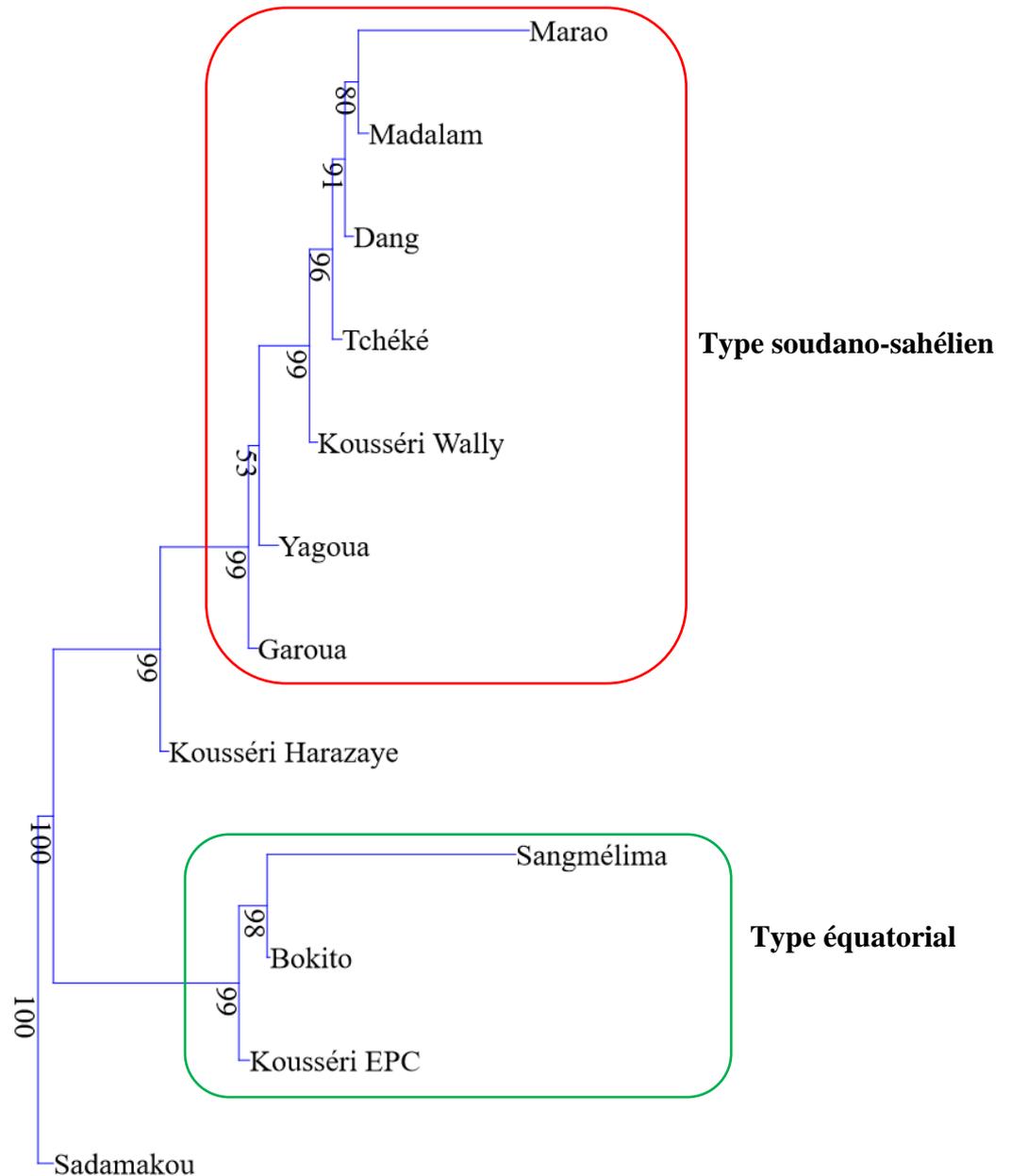


Figure 23. Dendrogramme des similitudes entre les échantillons de *Bulinus forskalii* s.s..

III.1.5.2. *Bulinus senegalensis*

III.1.5.2.1. Comparaison des mensurations des paramètres morphométriques des coquilles

Nous présentons au Tableau XIII les résultats de l'analyse des variances (ANOVA) portant sur les mensurations des coquilles de différentes populations de *Bulinus senegalensis*.

Tableau XIII. Analyse des variances (ANOVA) des mensurations des paramètres morphométriques de *Bulinus senegalensis* du Cameroun

Paramètres	Origine	ddl	F	Signification
H	VIC	6	89,81	p < 0,0001
	VR	522		
HS	VIC	6	93,98	p < 0,0001
	VR	522		
HO	VIC	6	68,31	p < 0,0001
	VR	522		
h	VIC	6	45,55	p < 0,0001
	VR	522		
LO	VIC	6	44,87	p < 0,0001
	VR	522		
NT	VIC	6	88,04	p < 0,0001
	VR	522		
H/HS	VIC	6	56,25	p < 0,0001
	VR	522		
H/HO	VIC	6	62,90	p < 0,0001
	VR	522		
H/h	VIC	6	129,60	p < 0,0001
	VR	522		
H/LO	VIC	6	109,20	p < 0,0001
	VR	522		
h/LO	VIC	6	7,23	p < 0,0001
	VR	522		
HS/HO	VIC	6	67,30	p < 0,0001
	VR	522		
HO/LO	VIC	6	45,15	p < 0,0001
	VR	522		
HO/h	VIC	6	52,83	p < 0,0001
	VR	522		
NT/H	VIC	6	71,45	p < 0,0001
	VR	522		
NT/h	VIC	6	35,47	p < 0,0001
	VR	522		

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ; NT = nombre de tours ; N = effectif de l'échantillon ; VIC= variance interclasse ; VR= variance résiduelle ; ddl= nombre de degrés de liberté ; F= valeur calculée du test ; p = probabilité.

Les résultats obtenus dans cette analyse montrent que les moyennes des paramètres étudiés diffèrent significativement dans l'ensemble. À cet effet, ces moyennes ont été comparées deux à deux par le test de post hoc de Tukey pour une meilleure différenciation des échantillons.

III.1.5.2.2. Comparaisons binaires

Nous présentons au Tableau XIV une matrice de synthèse des comparaisons binaires effectuées ainsi que les différents regroupements observés entre les échantillons de *Bulinus senegalensis*.

Pour les paramètres morphométriques H, HS, HO, h, LO et NT, nous observons de nombreuses ressemblances statistiques entre les populations de Madalam à Kousséri ; toutefois, certaines populations se sont présentées totalement isolées pour la hauteur de la coquille (Kousséri, Sadamakou Poussi), la hauteur de la spire (Gabaraïrou 1, Sadamakou Poussi), la hauteur de l'ouverture (Gabaraïrou 1, Madalam, Sadamakou Bassali, Sadamakou Poussi), le diamètre maximal (Gabaraïrou 1, Madalam, Sadamakou Poussi), la largeur de l'ouverture (Gabaraïrou 1, Madalam, Sadamakou Poussi) et le nombre de tours (Kousséri, Sadamakou Bassali, Sadamakou Poussi). L'échantillon issu de la population de la mare temporaire de Sadamakou Poussi s'est montré totalement isolé des autres pour tous les paramètres.

Les moyennes des rapports entre les différents paramètres morphométriques (Tableau IX, page 60) présentent des valeurs dont la marge de variation entre les échantillons semble relativement réduite. La comparaison des moyennes par le test HSD de Tukey (Tableaux XIV) nous a donné plusieurs cas de ressemblances statistiques. Les échantillons de Gabaraïrou 2 et Kai-Kai ont présenté des moyennes statistiquement semblables pour les rapports H/h, H/HS, H/LO, HS/HO, h/LO, HOLO, NT/H, et aucun échantillon n'a été totalement isolé des autres à tous les rapports.

Tableau XIV. Matrice des comparaisons binaires des paramètres morphométriques entre les populations de *Bulinus senegalensis*

Variables	Localités							p value
	Sadamakou Bassali	Sadamakou Poussi	Gabaraïrou 1	Gabaraïrou 2	Madalam	Kaï - Kaï	Kousséri	
H	8,01 ± 0,12 ^b	9,05 ± 0,17 ^a	4,60 ± 0,12 ^e	6,38 ± 0,25 ^d	4,33 ± 0,18 ^e	6,44 ± 0,23 ^d	7,37 ± 0,16 ^c	< 0,001
HS	4,65 ± 0,09 ^b	5,39 ± 0,12 ^a	2,27 ± 0,07 ^e	3,40 ± 0,15 ^d	2,19 ± 0,12 ^e	3,49 ± 0,16 ^d	4,21 ± 0,12 ^c	< 0,001
NT	4,84 ± 0,05 ^b	5,17 ± 0,06 ^a	3,68 ± 0,05 ^d	4,17 ± 0,09 ^c	3,53 ± 0,07 ^e	4,20 ± 0,08 ^c	4,76 ± 0,06 ^b	< 0,001
H/LO	4,21 ± 0,04 ^a	4,25 ± 0,06 ^a	2,92 ± 0,03 ^d	3,34 ± 0,06 ^c	2,99 ± 0,06 ^d	3,31 ± 0,06 ^c	3,85 ± 0,08 ^b	< 0,001
HO	3,38 ± 0,05 ^b	3,67 ± 0,06 ^a	2,32 ± 0,05 ^e	2,98 ± 0,11 ^d	2,14 ± 0,06 ^f	2,95 ± 0,07 ^d	3,14 ± 0,37 ^c	< 0,001
h	2,87 ± 0,04 ^b	3,24 ± 0,04 ^a	2,48 ± 0,06 ^c	2,90 ± 0,08 ^b	2,13 ± 0,05 ^d	2,80 ± 0,06 ^b	2,85 ± 0,04 ^b	< 0,001
H/h	2,79 ± 0,03 ^a	2,78 ± 0,03 ^a	1,86 ± 0,02 ^e	2,15 ± 0,04 ^c	1,99 ± 0,03 ^d	2,24 ± 0,04 ^c	2,57 ± 0,03 ^b	< 0,001
H/HO	2,37 ± 0,02 ^a	2,46 ± 0,02 ^a	1,98 ± 0,02 ^c	2,13 ± 0,02 ^b	1,99 ± 0,03 ^c	2,14 ± 0,03 ^b	2,33 ± 0,04 ^a	< 0,001
LO	1,91 ± 0,02 ^b	2,13 ± 0,03 ^a	1,58 ± 0,04 ^c	1,87 ± 0,05 ^b	1,42 ± 0,03 ^d	1,90 ± 0,04 ^b	1,90 ± 0,03 ^b	< 0,001
HO/LO	1,78 ± 0,02 ^a	1,73 ± 0,02 ^a	1,48 ± 0,01 ^d	1,57 ± 0,02 ^c	1,50 ± 0,02 ^d	1,55 ± 0,02 ^c	1,65 ± 0,03 ^b	< 0,001
H/HS	1,73 ± 0,01 ^d	1,69 ± 0,01 ^e	2,06 ± 0,02 ^a	1,91 ± 0,02 ^b	2,05 ± 0,03 ^a	1,94 ± 0,03 ^b	1,78 ± 0,01 ^c	< 0,001
NT/h	1,67 ± 0,02 ^a	1,60 ± 0,01 ^b	1,51 ± 0,02 ^c	1,46 ± 0,02 ^d	1,66 ± 0,01 ^a	1,51 ± 0,01 ^c	1,68 ± 0,02 ^a	< 0,001
h/LO	1,51 ± 0,01 ^{c,d}	1,53 ± 0,01 ^{b,c}	1,58 ± 0,02 ^a	1,56 ± 0,01 ^{a,b}	1,51 ± 0,01 ^{c,d}	1,48 ± 0,01 ^d	1,50 ± 0,03 ^{c,d}	< 0,001
HS/HO	1,38 ± 0,02 ^b	1,47 ± 0,02 ^a	0,98 ± 0,02 ^e	1,12 ± 0,02 ^d	0,99 ± 0,03 ^e	1,14 ± 0,03 ^d	1,32 ± 0,03 ^c	< 0,001
HO/h	1,18 ± 0,01 ^a	1,13 ± 0,01 ^b	0,94 ± 0,01 ^e	1,01 ± 0,01 ^d	0,99 ± 0,01 ^{d,e}	1,05 ± 0,01 ^c	1,11 ± 0,02 ^b	< 0,001
NT/H	0,61 ± 0,01 ^c	0,58 ± 0,01 ^c	0,82 ± 0,01 ^a	0,69 ± 0,02 ^b	0,85 ± 0,02 ^a	0,69 ± 0,02 ^b	0,66 ± 0,01 ^b	< 0,001

Légende. Les données de ce tableau sont présentées sous la forme moyenne ± erreur standard. Les valeurs arborant la même lettre ne présentent pas une différence statistiquement significative.

III.1.5.2.3. Analyse en composantes principales

Le critère du Coude a permis de retenir deux facteurs (F_1 et F_2) considérés comme plus déterminants dans cette analyse car ils ont expliqué 96,95% de la variance totale entre les différentes populations étudiées (Figure 24). Les deux premiers facteurs ont justifié respectivement 66,87% et 11,88% de cette variance, soit un total de 78,75% de la variabilité.

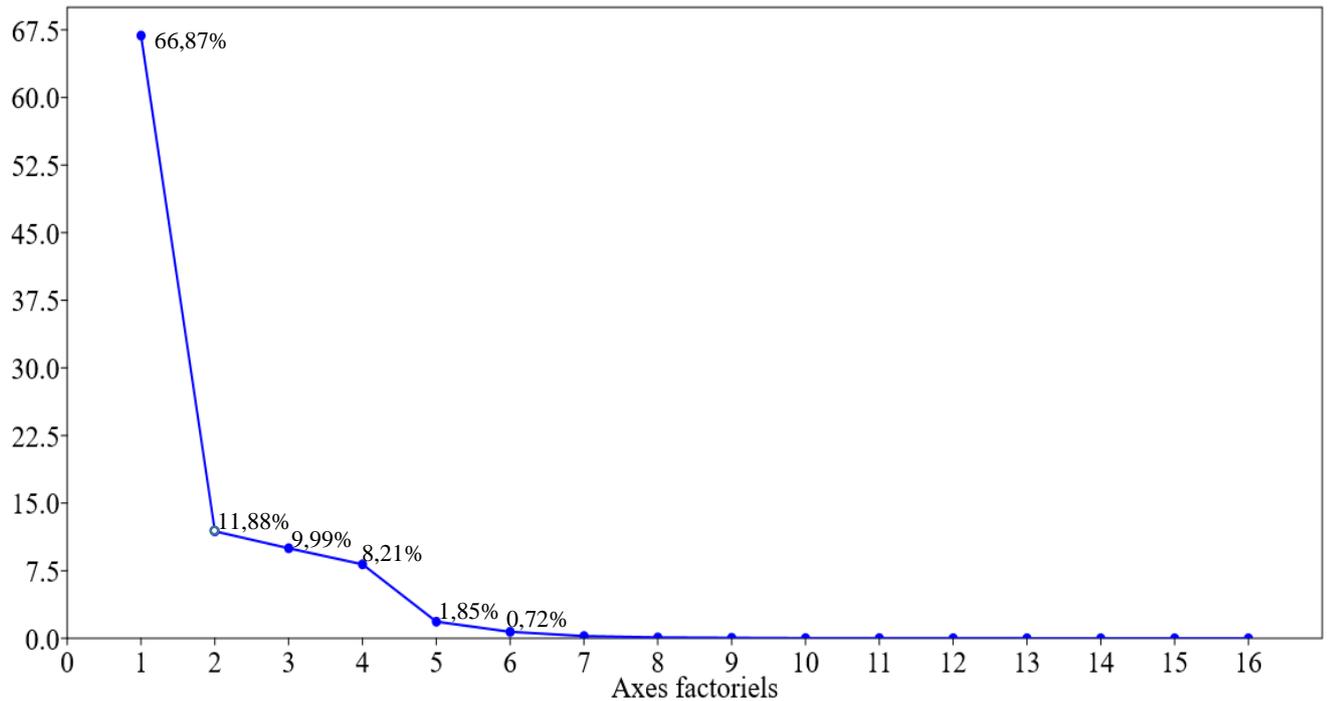


Figure 24. Choix des axes factoriels *Bulinus senegalensis*.

L'information n'a pas paru équitable entre les variables actives, certaines d'entre-elles comme H, HS, HO, h, LO, NT, H/LO, H/h, NT/H et NT/h ayant été plus proches du cercle de corrélation réalisé sur les axes factoriels 1 et 2 (Figure 25). Sur l'axe factoriel 1, les variables H, HS, HO, h, LO, NT, H/LO et H/h se trouvent à l'opposé de NT/H ; ces variables, ainsi que NT/h sur l'axe factoriel 2, ont fortement contribué à la discrimination des échantillons de *Bulinus senegalensis*.

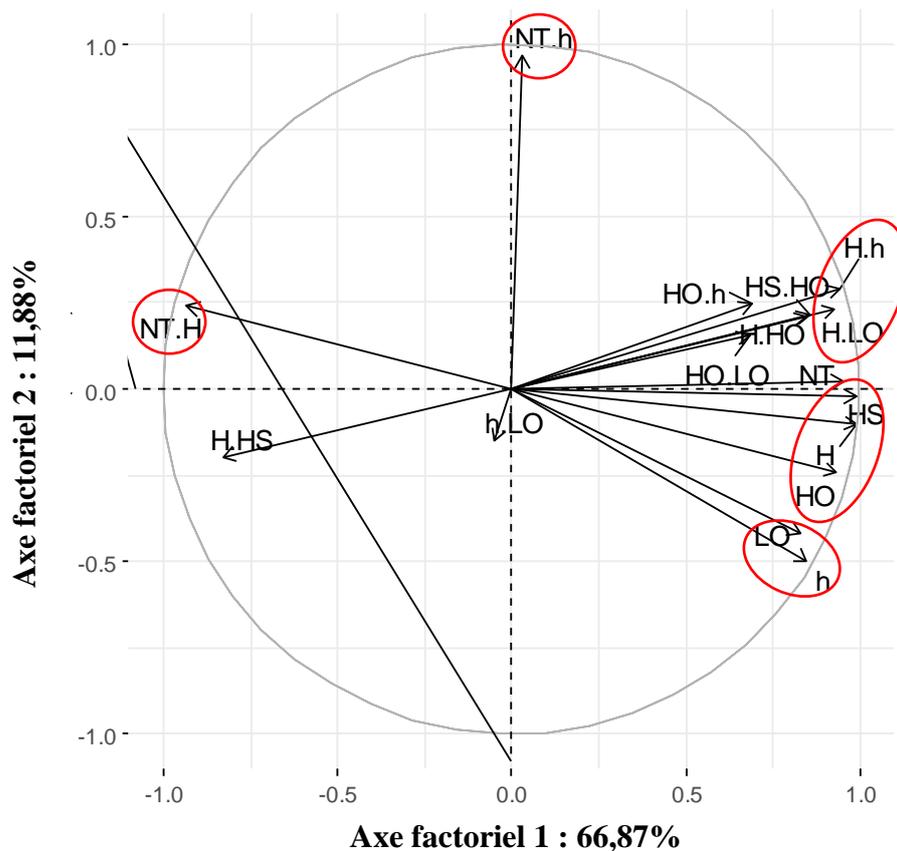
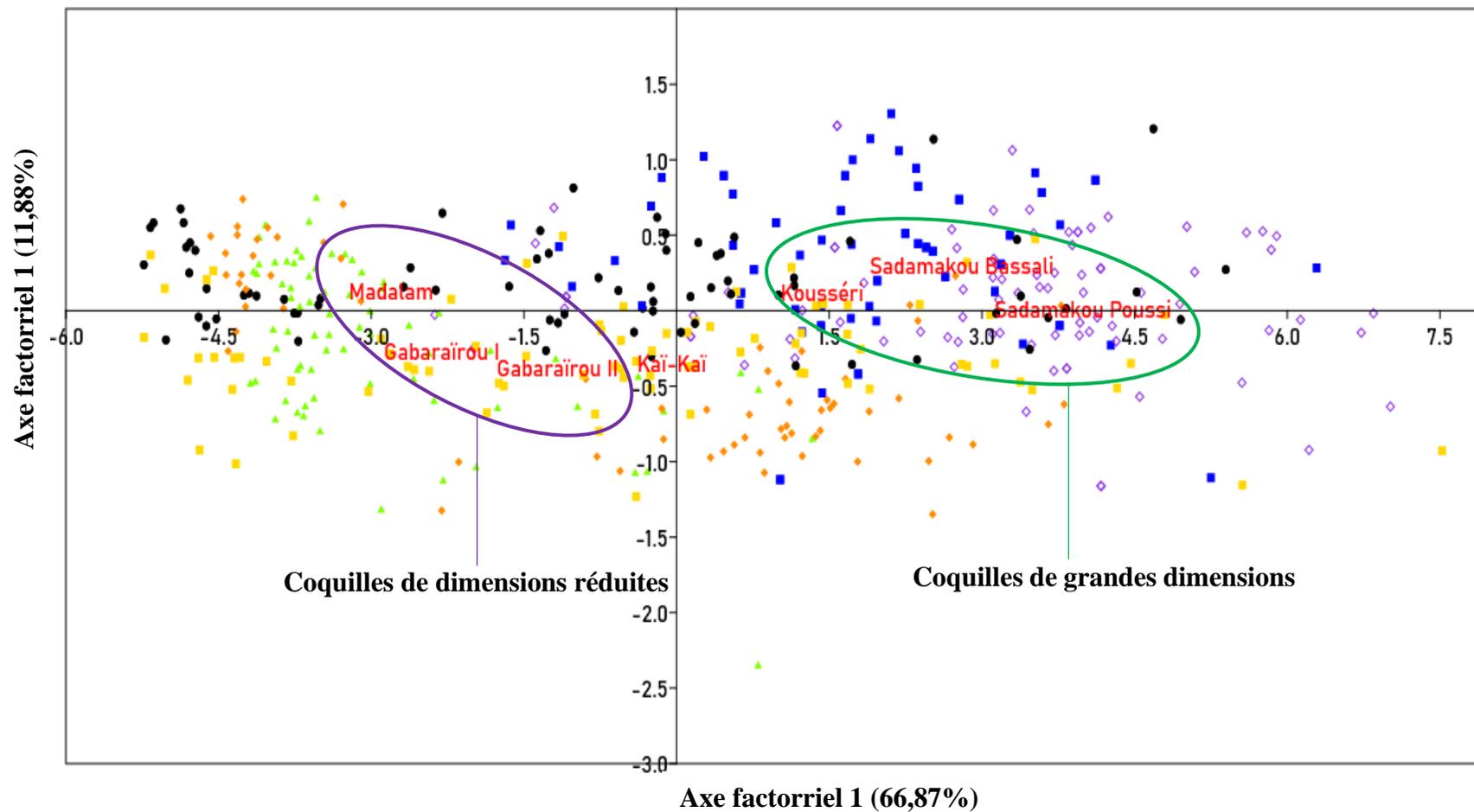


Figure 25. Projection des variables sur les axes factoriels 1 et 2.

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ; NT = nombre de tours ; N = effectif de l'échantillon.

Le long de l'axe factoriel 1, les échantillons se ségrègent en deux groupes : ceux de Sadamakou Poussi, Sadamakou Bassali et Kousséri sont diamétralement opposés à ceux de Madalam, Gabarairou 1 et Gabarairou 2. Le premier groupe est constitué de coquilles de grande taille et le second constitué des coquilles de taille réduite (Figure 26).

Le dendrogramme (Figure 27, page 75) généré en utilisant la méthode du Neighbour-joining, avec 1000 réplifications et en plaçant l'échantillon issu de la population de Kai-Kai comme groupe externe, confirme les résultats de la Figure 26, avec un nœud d'une valeur de 100. Dans le clade constitué des échantillons ayant des coquilles de taille réduite, les coquilles de Madalam ressemblent plus à celles de Gabarairou 1, formant un sous-clade qui se rapproche de celui de Gabarairou 2. Dans le second clade constitué des échantillons ayant des coquilles de grande taille, la ressemblance entre les coquilles de Sadamakou Bassali et celles de Sadamakou Poussi est plus forte ; elles forment un sous-clade proche de celui de Kousséri.



Légende

- Kai-Kai
- Madalam
- ◆ Gabarairou 1
- ▲ Gabarairou 2
- Sadamakou Bassali
- ◆ Sadamakou Poussi
- Kousséri

Figure 26. ACP des mensurations des différentes variables explicatives de *Bulinus senegalensis* représentées sur les axes factoriels 1 et 2.

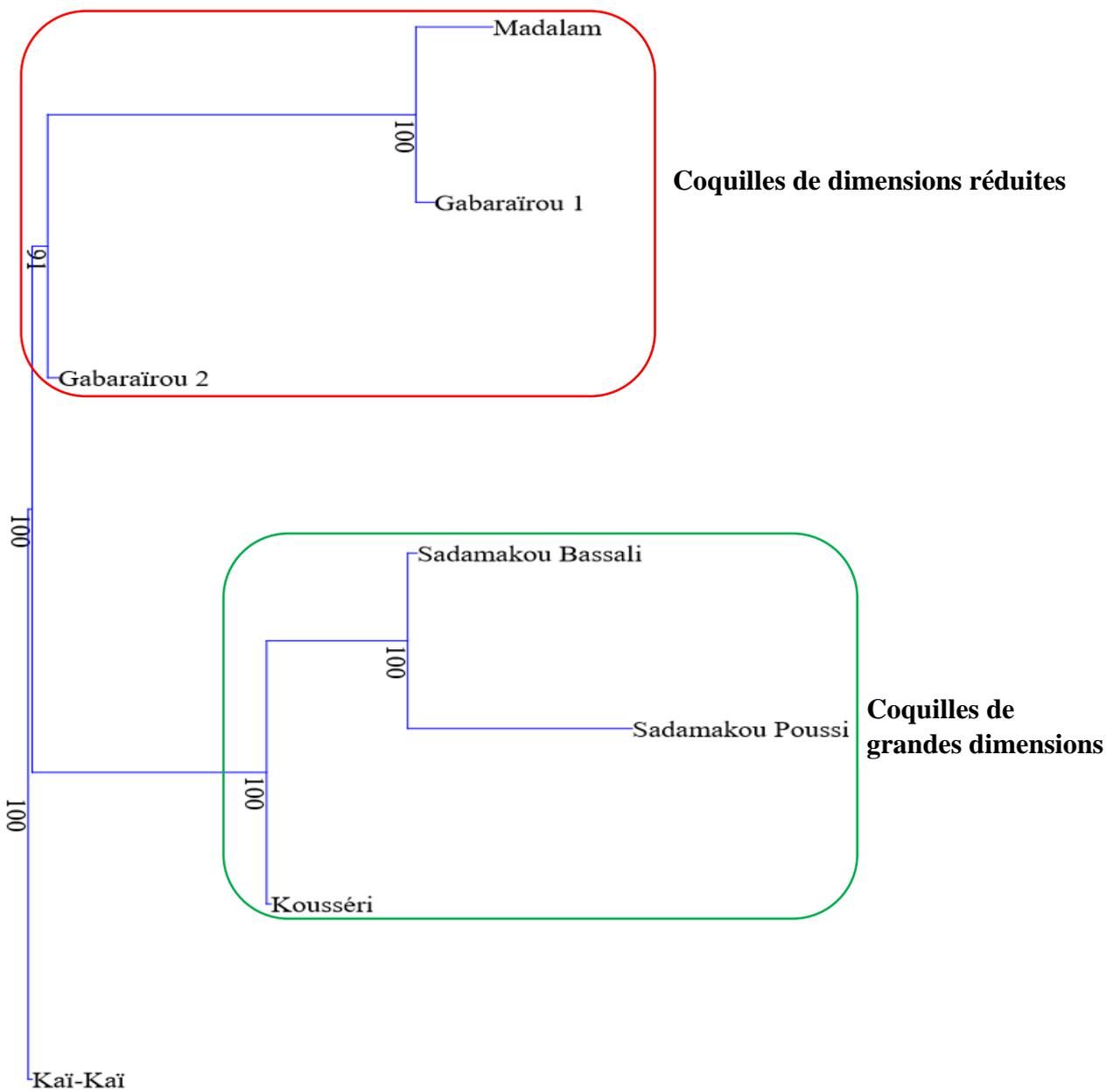


Figure 27. Dendrogramme des similitudes entre les échantillons de *Bulinus senegalensis*.

III.1.5.3. Etude comparative entre *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus camerunensis*

Nous avons comparé les données obtenues sur certaines populations de *Bulinus forskalii* s.s. des régions soudano-sahéliennes avec les mensurations publiées par Mimpfoundi *et al.* (1999) sur *Bulinus camerunensis* de Barombi Kotto et Debundscha. Ces comparaisons binaires ont été effectuées à l'aide du test de l'écart-réduit et sont présentées au Tableau XV.

Tableau XV. Ressemblances entre *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus camerunensis*

	H	HS	HO	h	H/HO	HO/LO	Total
Barombi Kotto / Dang		1,25					1
Barombi Kotto / Debundscha					1,00		1
Barombi Kotto / Yagoua	1,84						1
Dang /Debundscha						0,71	1
Debundscha / Marao			0,38	0,92			2
Total	1	1	1	1	1	1	6

Légende. H = hauteur de la coquille ; HS = hauteur de la spire ; HO = hauteur de l'ouverture ; h = diamètre maximal de la coquille ; LO = largeur de l'ouverture ;
 Pour $ddl > 120$ et $\alpha = 0,05$, la différence est statistiquement significative pour $t > 1,96$.
 ddl= nombre de degrés de liberté.

Nous observons les seules ressemblances statistiques de *Bulinus camerunensis* de Barombi Kotto avec *Bulinus forskalii* s.s. de Yagoua sur la hauteur de la coquille (H), avec *Bulinus forskalii* s.s. de Dang sur la hauteur de la spire (HS), puis entre *Bulinus camerunensis* de Debundscha et *Bulinus forskalii* s.s. de Marao sur le diamètre maximal de la coquille (h) et la hauteur de l'ouverture (HO). En ce qui concerne les rapports allométriques calculés par Mimpfoundi *et al.* (1999) sur *Bulinus camerunensis*, les échantillons de Barombi Kotto et Debundscha ont été semblables pour le rapport H/HO tandis que l'échantillon de Debundscha a présenté une valeur semblable à celle de *Bulinus forskalii* s.s. de Dang pour le rapport HO/LO.

III.1.6. Infestations naturelles des mollusques

Les 1.704 mollusques prélevés dans les différentes localités de récolte, dont 1.064 *Bulinus forskalii* s.s. et 640 *Bulinus senegalensis*, ont été soumis, séparément selon leur espèce, au test d'émission naturelle de cercaires ; des furcocercaires et des cercaires d'autres groupes de trématodes ont été observées (Tableaux XVI et XVII, pages 77 et 78).

Au total, 55 mollusques (5,17%) sur les des 1.064 soumis au test ont émis des furcocercaires de Schistosomatidae. Cette émission naturelle de furcocercaires par *Bulinus forskalii* s.s. a été nulle dans le site de Bokito en zone subéquatoriale. Dans les régions tropicales

et soudano-sahéliennes, aucune émergence cercarienne n'a été observée dans les échantillons issus des populations de Yagoua, Madalam et Sadamakou. Le taux d'émission naturelle des cercaires a varié de 2,22% dans la population de Kousséri EPC à 15,68% dans celle de Kousséri-Harazaye. À l'exception des mollusques issus des échantillons de Madalam et de Sadamakou d'où n'a émergé aucune cercaire, des cercaires appartenant à d'autres familles de Trématodes ont été émises par toutes les autres populations de mollusques étudiées ; le taux d'émission a varié de 3,06% dans la population de Yagoua à 11,57% dans la population de Tchéké.

Tableau XVI. Emissions naturelles des cercaires par *Bulinus forskalii* s.s.

Climats	Localités de récolte	Nombre de mollusques				
		Testés	Emettant des cercaires de <i>Schistosoma</i>	(%)	Emettant d'autres types de cercaires	(%)
Subéquatorial	Bokito	109	00	/	5	4,59 ^f
Tropical humide	Dang	90	5	5,56 ^e	7	7,78 ^c
Soudanien	Garoua	115	8	6,96 ^d	6	5,22 ^e
	Yagoua	98	00	/	3	3,06 ^g
	Tchéké	95	9	9,47 ^c	11	11,57 ^a
	Marao	105	5	4,76 ^e	5	4,76 ^f
	Madalam	85	00	/	00	/
	Sadamakou	85	00	/	00	/
Sahélien	Kousséri Wally	90	10	11,11 ^b	6	6,67 ^d
	Kousséri Harazaye	102	16	15,68 ^a	9	8,82 ^b
	Kousséri EPC	90	2	2,22 ^f	7	7,78 ^c
TOTAL		1.064	55	5,17	59	5,55
p value			<0,01		<0,01	

Légende. % = Taux d'émission naturelle des cercaires ; les valeurs arborant la même lettre ne présentent pas une différence statistiquement significative.

Dans les populations de *Bulinus senegalensis*, seuls 9 mollusques sur les 640 testés ont émis des furcocercaires, soit un taux d'émission cercarienne de 1,41% (Tableau XVII). Ce taux a été nul (0,00%) dans les échantillons de Sadamakou Bassali, Sadamakou Poussi et Kousséri Résidentiel et a varié de 0,77% dans l'échantillon issu de la population de Madalam à 4,35% dans celui de Kaï-Kaï. Le taux d'émission des autres types de cercaires par *Bulinus senegalensis* a été nul (0,00%) dans les deux populations de Sadamakou, mais a varié dans les autres populations de 5,38% (Madalam) à 12,82% (Gabaraïrou 1).

Tableau XVII. Emissions naturelles des cercaires par *Bulinus senegalensis*

Climats	Sites de récolte	Nombre de mollusques				
		Testés	Emettant des cercaires de <i>Schistosoma</i>	(%)	Emettant d'autres types de cercaires	(%)
Soudanien	Sadamakou Bassali	96	00	/	00	/
	Sadamakou Poussi	87	00	/	00	/
	Gabaraïrou 1	78	3	3,85 ^b	10	12,82 ^a
	Gabaraïrou 2	72	1	1,39 ^c	5	6,94 ^d
	Madalam	130	1	0,77 ^d	7	5,38 ^e
	Kaï-Kaï	92	4	4,35 ^a	8	8,69 ^c
Sahélien	Kousséri Résidentiel	85	00	/	8	9,41 ^b
TOTAL		640	9	1,41	38	5,94
p value		<0,03			<0,01	

Légende. % = Taux d'émission naturelle des cercaires ; les valeurs arborant la même lettre ne présentent pas une différence statistiquement significative.

III. 2. Discussion

Notre étude avait pour objectif une meilleure caractérisation des coquilles de *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus senegalensis* sur un transect allant de la région forestière (en climat typiquement équatorial) aux steppes à épineux (en climat sahélien classique), afin d'évaluer la relation existant entre les populations de mollusques et les écosystèmes environnementaux ainsi que la capacité naturelle des premiers à transmettre les schistosomes. Elle nous a donc amené (1) à une analyse de quelques paramètres susceptibles d'influencer le développement des populations de Planorbidae dans les sites de récolte, (2) à étudier les coquilles de chaque échantillon et (3) à examiner les cercaires émises par les mollusques récoltés pour une identification sommaire.

III.2.1. Caractéristiques des sites de récolte

Nous avons présenté, au paragraphe II.2., les localités de récolte et au Tableau II (page 42) les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques obtenues dans ces 17 sites de récolte dont 2 lacs, 1 ruisseau, 1 canal d'irrigation, 4 mayos et 9 mares temporaires.

Nous constatons que *Bulinus forskalii* s.s. colonise une grande variété d'habitats, des mares temporaires aux ruisseaux permanents en passant par les canaux d'irrigation, les mayos et les lacs, donc des sites au courant d'eau faible ou nul, de turbidité généralement moyenne ou élevée ; ces données sont en accord avec les observations de Greer *et al.* (1990). La température moyenne la plus élevée a été observée dans une mare temporaire (33,72°C) ; il en est également de la valeur moyenne du pH (8,09), de la conductivité (236,00 µS/cm), du total des solides dissous (211,02 mg/L) et de la salinité 100,09 ‰), des sites tous localisés dans la zone soudano-sahélienne. Toutefois, *Bulinus forskalii* s.s., ubiquiste, colonise de nombreux autres types de collection d'eau comme l'avaient observé Greer *et al.* (1990), tant dans le domaine tropical (32 sites) que dans le domaine équatorial (36 sites) dont 35 sites temporaires et 33 sites permanents, traduisant ainsi ses grandes capacités d'adaptation à des écosystèmes et des types climatiques divers (Smithers, 1956 ; Sellin *et al.*, 1980 ; Wibaux-Charlois *et al.*, 1982 ; Betterton, 1984) qui l'ont amené à étendre son aire de répartition depuis l'Égypte jusqu'en Afrique du Sud, à Saô Tomé et à Madagascar (Brown 1980, 1991, 1994). Ainsi, toutes les valeurs des paramètres physicochimiques obtenues dans les sites de récolte sont comprises dans la gamme déjà observée en Afrique (Brown, 1994).

Par contre, *Bulinus senegalensis* a une aire de répartition strictement limitée aux domaines sahéliens, soudano-sahéliens et soudaniens, jusqu'à la vallée de la Bénoué

(Mimpfoundi & Sloomweg, 1991), où il colonise les mares temporaires sur substratum latéritique et les mayos, généralement sablonneux, souvent en populations mixtes avec *Bulinus forskalii* s.s. (Mimpfoundi & Greer, 1989 ; Greer *et al.*, 1990) comme l'avaient d'abord observé Betterton *et al.* (1983) au Nigéria. La température moyenne des eaux de ces sites de récolte est relativement élevée, généralement au-dessus de 25,04°C, atteignant 33,72°C à Kousséri. Smithers (1956) avait enregistré des températures supérieures à 35°C au Sénégal, dans des mares temporaires sur substrat latéritique aux eaux légèrement acides, avec un pH variant entre 6,0 et 6,5. Nous constatons que les populations de *Bulinus senegalensis* prospèrent tout aussi bien dans des eaux voisines de la neutralité, et même légèrement alcalines ($6,44 \leq \text{pH} \leq 8,04$).

Le seul paramètre qui nous permet de différencier les sites de *Bulinus senegalensis* est leur caractère temporaire, avec des eaux probablement déficientes en certains sels minéraux (Smithers, 1956) ; pendant la période d'estivation les mollusques s'enfouissent dans le sable ou la boue même solidifiée, à une profondeur de quelques centimètres (Diaw *et al.*, 1989), pour échapper à la déshydratation, ce qui leur permet de survivre à une longue période de sécheresse qui peut durer 7 mois. Brown (1994) avait classé *Bulinus forskalii* s.s. et *Bulinus senegalensis* comme très aptes à l'estivation, en raison de leur capacité de survivre dans les sites où aucun potentiel point d'eau n'est reconnaissable pendant la saison sèche, la présence de l'eau dans les sites étant trop brève pour permettre le développement de toute végétation. En Gambie, Webe (1962) puis Goll & Wilkins (1984) avaient observé que *Bulinus senegalensis* estivait dans les berges des mares temporaires pour éviter aux mollusques un retour précoce à l'activité par quelques précipitations isolées au début de la saison des pluies ; il ne réapparaissait que quand les mares étaient pleines (Brown, 1994). Le facteur déclencheur de ce phénomène demeure obscur, mais la chute des températures et l'augmentation de la salinité due à l'évaporation dans le site peuvent être mises en cause (Betterton *et al.*, 1983) pour déclencher cette estivation. Un suivi mensuel, sur plusieurs années, des variations des paramètres physico-chimiques des sites de récolte et de la dynamique des populations de mollusques pourrait apporter plus d'informations sur l'influence réelle de chaque paramètre étudié sur le développement des populations et la croissance des mollusques dulcicoles.

III.2.2. Caractères morphologiques des coquilles

La récolte des mollusques a été effectuée, dans les régions septentrionales, à la fin de la saison des pluies, période où la croissance des individus dans les populations a atteint les valeurs

maximales, avant l'assèchement des sites temporaires ; par contre, en régions subéquatoriales et équatoriales, les sites sont généralement permanents.

Au Cameroun, la coquille de *Bulinus forskalii* s.s. est pyriforme (du terme générique *Pyrgophysa*) et présente jusqu'à 7 tours dans l'échantillon de Sangmélina, un site permanent en climat équatorial à faciès océanique colonisé par une abondante végétation aquatique de macrophytes et d'algues ; le nombre de tours de spire se stabilise entre 5 et 6 tours dans les autres populations, en accord avec les observations faites par Mandahl-Barth (1958). Sa couleur brunâtre dans les régions équatoriales et subéquatoriales devient brun clair dans les régions soudaniennes, puis brun-ocre et à l'aspect blanchâtre dans les régions soudano-sahéliennes et sahéliennes, certaines coquilles diaphanes permettant d'observer l'animal à l'intérieur. Cette variation de coloration semblerait liée à la nature du substrat édaphique ; les coquilles des sites au substrat boueux (régions équatoriales et subéquatoriales) étaient beaucoup plus sombres que celles prélevées dans des sites au substrat sablonneux (régions soudano-sahéliennes), ces dernières étant majoritairement blanchâtres et diaphanes. En effet, il est possible que les microéléments du sol s'incrustent à la structure de la coquille et influencent sa coloration. Hugues & Mather (1986) ont suggéré que les fréquences de coloration des coquilles pourraient être déterminées par la pression de prédation, les mollusques s'adaptant en imitant la coloration du substrat.

Les observations sur la sculpture et la micro-sculpture, essentiellement constituées de stries longitudinales et d'une fine sculpture spirale, sont également en accord avec celles faites par Mandahl-Barth (1958). La coquille présente un épaulement net fortement prononcé, et une carène forte sur tous les tours dans la plupart des populations des régions sahéliennes et soudaniennes ; ce nombre de tours carénés diminue progressivement vers les régions subéquatoriales et équatoriales, soit 81,33% à Garoua, 78,31% à Dang, 33,96% à Bokito et 21,74% à Sangmélina, ce qui suggère l'existence d'un morphocline.

Bulinus senegalensis a une coquille morphologiquement semblable à celle de *Bulinus forskalii* s.s., d'où les confusions dans l'identification de cette espèce. Le décompte de 5 à 6 tours de coquille généralement lisses, avec quelquefois une striation, discrète sur tous les tours dans 19,0% des cas ou sur quelques tours pour la plupart (74,86%), sans aucune carène (Mandahl-Barth, 1958), constitue le caractère permettant de la discriminer de la coquille de *Bulinus forskalii* s.s. dans les populations mixtes. La coloration de la coquille semble liée au degré d'exposition du site de récolte au soleil car les coquilles des sites ombragés sont beaucoup plus sombres, celles

des sites non-couverts varient du brun clair au blanchâtre, certaines étant diaphanes et empreintes de taches noires caractéristiques du manteau de *Bulinus senegalensis*. Cette variation de coloration suggère une adaptation de *Bulinus senegalensis* au camouflage en vue d'échapper à la prédation (Hugues & Mather, 1986).

III.2.3. Caractères morphométriques des coquilles

III.2.3.1. *Bulinus forskalii* s.s.

Bulinus forskalii s.s. vit dans des zones bioécologiques variées ; la nature des gîtes ainsi que les relations avec les facteurs écologiques locaux rendent les écosystèmes beaucoup plus complexes dans chacun des sites, pouvant déterminer les différences morphologiques et morphométriques interpopulationnelles observées dans cette étude. D'une population de mollusques à l'autre, l'hétérogénéité des coquilles tiendrait au fait que ces mollusques sont soumis à des conditions écologiques et/ou environnementales (température, longueur des saisons, temporalité des sites, pression de prédation, disponibilité des nutriments, densité des populations de mollusques) qui varient tant sur le plan macro-géographique que sur le plan micro-géographique. Takahiro & Iwasa (2003) puis Takahiro (2006) ont montré que les différences morphologiques (ou mieux la plasticité phénotypique) observées chez *Cypraea annulus* (Linné, 1758) un gastéropode de la famille des Cypraeidae, étaient liées à l'hétérogénéité environnementale.

La coquille de *Bulinus forskalii* s.s. a présenté près de sept tours à Sangmélina, et une hauteur de 14,58 mm à Kousséri EPC dans une mare temporaire en climat sahélien classique, dans des boisements sahéliens et des steppes arbustives. Cette hauteur est légèrement supérieure à celle obtenue dans l'échantillon de Sangmélina (14,15 mm) prélevé dans un lac permanent en climat typiquement équatorial à faciès océanique. Ce rapprochement des tailles nous semble lié à la riveraineté du site par rapport au Logone qui est un fleuve permanent susceptible d'influencer l'écologie des écosystèmes environnants ; en effet, Bertness (1980) avait montré que les variations des facteurs de l'habitat peuvent affecter la croissance des coquilles des mollusques et même la stabilisation des populations.

Mimpfoundi & Sloomweg (1991) avaient ainsi observé un génotype de *Bulinus forskalii* s.s. de forêt à Lagdo en climat soudanien de nuance humide, identique à celui de la population de Sangmélina (climat typiquement équatorial à faciès océanique) ; ils avaient expliqué cette présence par la possibilité de dispersions (par hydrochorie) le long de la vallée du Niger et de la Bénoué depuis les régions équatoriales. Dans le cadre de cette étude, nous avons noté que les

coquilles de *Bulinus forskalii* s.s. du lac Dang ont une hauteur moyenne relativement trop faible que celles de Bokito et de Garoua ; nous proposons d'expliquer cette faible croissance de la coquille par l'écologie des points d'eau, le lac Dang ayant présenté la salinité la plus basse (38,23‰) de tous les sites due certainement à la faible minéralisation des eaux peu favorable à la croissance des coquilles. Des observations analogues avaient été faites par Green *et al.* (1974) sur la population de *Bulinus camerunensis* du lac Debundscha dont la conductivité est la plus basse en Afrique. Enfin, Bertness (1980) avait montré que la coquille des mollusques était sujette à des modifications liées aux conditions de l'habitat, les variations des facteurs physiques pouvant affecter même la fréquence des allèles dans l'espace et dans le temps, et induisant un polymorphisme non-négligeable (Powers & Place, 1978). Par contre, les coquilles de Sadamakou sont plus grandes que celles de Madalam et Marao en climat soudanien ; nous avons expliqué cela par la proximité du site Sadamakou avec la réserve forestière de Kalfou susceptible de créer une enclave environnementale proche des milieux subéquatoriaux. D'autres faibles croissances des coquilles dans certains sites comme à Marao (canal d'irrigation) peuvent aussi être expliquées par les perturbations fréquentes dans l'écologie du site peu favorables à une stabilisation des populations.

Toutefois, à l'exception des échantillons de Kousséri-EPC, Madalam, Marao et Dang, dans les autres échantillons la hauteur de la coquille a progressivement augmenté de Kousséri Wally à Sangmélima (Figure 28, page 84) ; ceci suggère une croissance liée à une zonation climatique. Les mesures obtenues sur la hauteur de la spire (HS), la hauteur de l'ouverture (HO), le diamètre maximal (h), la largeur de l'ouverture (LO) et le nombre de tours (NT) sont positivement et fortement corrélées à la hauteur de la coquille ($r > 0,66$; $p < 0,0001$) ; la hauteur de la coquille constitue donc le caractère dominant permettant de distinguer les populations, les autres caractères lui étant subordonnés. La corrélation fortement négative observée entre la hauteur de la coquille et la latitude suggère que ce paramètre morphométrique tend à diminuer lorsque la latitude augmente. En considérant ces observations, nous pouvons nous baser sur l'évolution de la hauteur de la coquille pour exclure les tautologies et définir un morphocline.

La coquille de *Bulinus forskalii* s.s. est turriculée ($H \geq 2h$; $HO > LO$) dans les populations de nos sites de récolte, à l'exception de la population de Marao où la hauteur est inférieure au double du diamètre maximal ($H < 2h$). Toutefois, malgré les fortes corrélations observées entre la hauteur de la coquille et les autres paramètres, Brown (1991) avait défini un certain nombre de rapports qui lui ont permis une meilleure caractérisation des populations de *Bulinus forskalii* s.s. de Saõ-Tomé, notamment les rapports H/h, H/HO, NT/H et NT/h ; dans ce travail, nous avons

complété cette analyse avec les rapports H/HS, H/LO, HO/h, HO/LO, HS/HO et h/LO (Tableau VI, page 56) ; nous constatons aussi que la marge de variation de la moyenne de chacun de ces paramètres est relativement réduite, de 0,07 pour h/LO à 1,24 pour H/LO, autour des écart-types faibles (0,04 pour NT/H à Sangmélina à 0,57 pour H/LO à Dang et Sangmélina). Sur 530 comparaisons binaires effectuées par le test HSD de Tukey entre les rapports allométriques, nous avons observé 139 cas de ressemblances (26,23%) et aucune population n'a été totalement isolée des autres, confirmant leur appartenance à une même espèce.

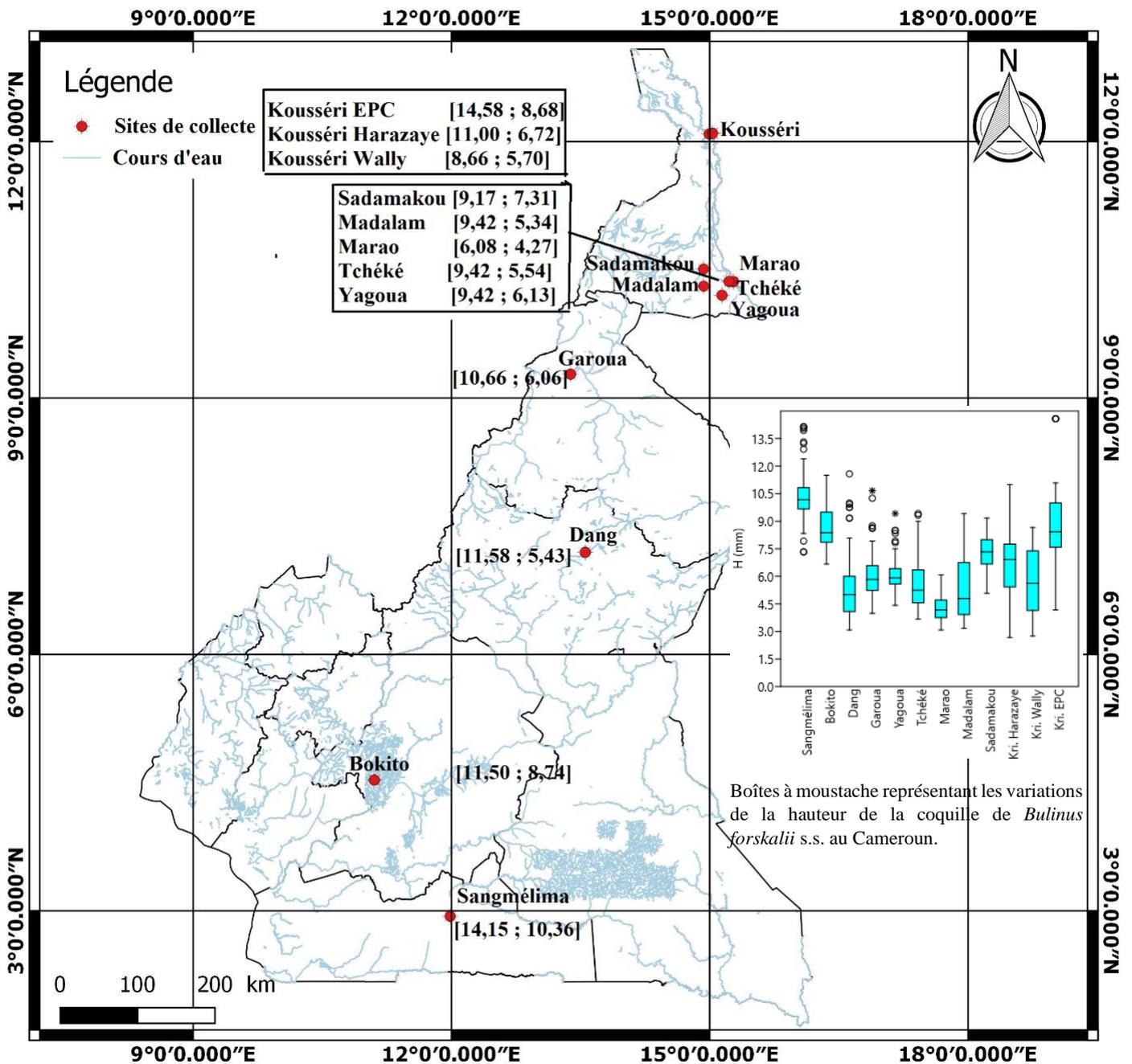


Figure 28. Variation de la hauteur des coquilles de *Bulinus forskalii* s.s. en fonction de la latitude et de l'écologie [maximum ; moyenne].

Les analyses en composantes principales ont permis de révéler une importante variation inter-populationnelle et une ségrégation des échantillons en deux groupes dont un premier groupe dit de type soudano-sahélien et un second groupe dit de type équatorial qui comprend, lui, les échantillons issus des populations de Sangmélima, Bokito et Kousséri EPC. Ce regroupement, apparemment lié à la pérennité des sites de récolte, a été confirmé par le dendrogramme généré à partir des données morphométriques. Les coquilles de l'échantillon de Kousséri EPC ont présenté de nombreuses ressemblances morphologiques et morphométriques avec celles des échantillons issus des régions subéquatoriales et équatoriales. La localisation du site d'échantillonnage de Kousséri EPC au confluent des fleuves Logone et Chari, deux cours d'eau permanents prenant leurs sources en République Centrafricaine, pourrait avoir favorisé la dispersion par hydrochorie des mollusques de type équatorial et l'établissement d'une nouvelle population à cet endroit, comme cela l'avait déjà été observés par Mimpfoundi & Sloomweg (1991) sur le profil iso-enzymatique de *Bulinus forskalii* s.s. de la vallée supérieure de la Bénoué à Lagdo.

La comparaison des mensurations des coquilles des échantillons des populations de *Bulinus forskalii* s.s. de Dang, Marao et Yagoua aux mensurations obtenues par Mimpfoundi *et al.* (1999) sur *Bulinus camerunensis* de Barombi Kotto et Debundscha a montré des similitudes entre l'échantillon de Barombi Kotto et celui de Dang d'une part pour la hauteur de la spire (HS), et d'autre part celui de Yagoua pour la hauteur de la coquille (H). *Bulinus camerunensis* de Debundscha a présenté des similitudes avec (1) l'échantillon de *Bulinus forskalii* s.s. de Marao pour le diamètre de la coquille (h) et la hauteur de l'ouverture (HO), et (2) avec l'échantillon de *Bulinus forskalii* s.s. de Dang pour le rapport HO/LO, soit 6 similitudes sur 30 tests binaires (20,00%) entre ces échantillons. Les autres rapports de comparaison (80,00%) ont montré de grandes différences qui, compte tenu des différences déjà observées sur l'électrophorèse des protéines ovulaires (Wright & Ross, 1966) et malgré l'absence de toute différence réelle sur le plan des isoenzymes (Mimpfoundi & Greer, 1989) ou avérée sur le plan moléculaire (Jones *et al.*, 1999 ; 2001), apportent un début de réponse à la question de Brown (1994) sur la nécessité de recherches supplémentaires pour la validité taxinomique de *Bulinus camerunensis* ; Mandahl-Barth (1958) avait suggéré à l'origine de la considérer comme une forme fortement modifiée de *Bulinus forskalii* s.s..

III.2.3.2. *Bulinus senegalensis*

La coquille de *Bulinus senegalensis* présente un peu plus de six tours de spire (à Sadamakou et Kousséri) sur une hauteur de 12,66 mm à Kaï-Kaï dans une mare temporaire en climat soudanien de nuance sèche ; notons également que la hauteur maximale des coquilles ainsi que les moyennes les plus élevées ont été observées dans les échantillons prélevés dans des mares temporaires, l'écosystème demeurant essentiellement instable dans les mayos en fonction du rythme des précipitations. Les coquilles de l'échantillon récolté par Samé Ekobo (1984) étaient plus petites, soit 10 mm de haut, certainement parce que le site, une mare temporaire sur fond vaso-sableux et sous-sol granitique avec une végétation aquatique pauvre, n'était pas favorable à la croissance des coquilles, ou que la récolte avait été effectuée à une date où le mollusque n'avait pas achevé son développement. Toutefois, aucune relation ne nous semble exister entre la hauteur maximale de la coquille et la latitude du site de récolte ; une comparaison des données morphométriques obtenues sur nos échantillons avec celles des échantillons prélevés dans la région de Lagdo en climat soudanien franc des steppes soudano-sahéliennes de dégradation des régions déprimées et de prairies périodiquement inondées, nous permettra peut-être de mieux asseoir une relation entre la hauteur de la coquille de *Bulinus senegalensis*, la hauteur des précipitations et la pérennité des sites. Toutefois, *Bulinus senegalensis* a des exigences d'estivation dans sa biologie (Betterton *et al.*, 1983) qui entraîne de fortes réductions cycliques des effectifs des populations (Greer *et al.*, 1990) et beaucoup de perte de diversité génétique ; il en découle une tendance au monomorphisme dans les populations (Mimpfoundi & Greer, 1990b) favorisée par la faculté de reproduction uniparentale (hermaphrodisme) et les faibles capacités de migration des individus entre les sites géographiquement isolés les uns des autres. Cette dérive génétique peut expliquer la faible diversité des morphotypes (Wright, 1959) même dans une aire géographique restreinte (Sadamakou Bassali, Sadamakou Poussi). Comme chez *Bulinus forskalii* s.s., la hauteur de la spire (HS), la hauteur de l'ouverture (HO), le diamètre maximal (h), la largeur de l'ouverture (LO) et le nombre de tours (NT) nous ont paru fortement corrélés à la hauteur de la coquille (H) ($r > 0,67$), constituant le caractère dominant auquel les autres sont subordonnés (Tableau X, page 61).

Les résultats du Tableau VIII (page 58) présentent une grande variation d'une population à l'autre pour les mensurations des différents paramètres morphométriques sans aucune structuration spatiale apparente. Toutefois, la synthèse des comparaisons des moyennes par le test post-hoc de Tukey (Tableau XIV, page 71) montre que pour tous les paramètres étudiés, les

coquilles de la mare temporaire de Sadamakou Poussi diffèrent de celles des autres sites ; par contre, les coquilles de Gabaraïrou 2 et de Kaï-Kaï ont présenté des tailles proches pour tous les paramètres. Les populations de *Bulinus senegalensis* de Gabaraïrou 2 et de Kousséri se rapprochent entre-elles pour trois paramètres (HO, h, LO), celles de Gabaraïrou 1 et Madalam pour H, NT, celles de Gabaraïrou 2 et de Sadamakou Bassali, tout comme celles de Kaï-Kaï, Kousséri et Sadamakou Bassali pour deux paramètres (h, LO), celles de Madalam et de Sadamakou Bassali pour un paramètre (HS). À l'exception de la population de *Bulinus senegalensis* de la mare temporaire de Sadamakou Poussi, toutes les autres populations sont proches entre-elles par au moins un paramètre (Tableau XIV, page 71). Nous observons aussi que les mensurations des paramètres h et LO sont statistiquement égales pour les échantillons de Gabaraïrou 1, Gabaraïrou 2, Kaï-Kaï, Kousséri, Madalam, Sadamakou Bassali et Sadamakou Poussi. Les analyses en composantes principales ont permis de ségréger les échantillons en deux groupes (Figure 26, page 74) dont le premier est constitué de coquilles de dimensions réduites provenant de Gabaraïrou 1, Gabaraïrou 2 et Madalam, et le second est constitué de coquilles de grandes dimensions récoltées à Sadamakou Bassali, Sadamakou Poussi et Kousséri. Ces observations ont été confirmées par les clades observés sur le dendrogramme généré à partir des données morphométriques. Ces ressemblances et ces regroupements nous semblent liés aux exigences d'adaptation au caractère temporaire des gîtes et au fait que les populations de mollusques renaissent à chaque saison des pluies grâce à l'effet fondateur à partir d'un effectif réduit de mollusques ayant survécu à la sélection pendant la période d'estivation, ainsi qu'aux possibilités de dispersion des individus d'un site à un autre par zoochorie. Les différences observées peuvent résulter des éventuelles divergences génétiques entre les individus survivants, comme il a été observé dans l'échantillon de la mare temporaire de Sadamakou Poussi qui semble en situation de vicariance. Sur 130 comparaisons binaires des rapports allométriques, 32 cas (24,61%) de relations de ressemblance ont été observés ; aucun échantillon n'a été totalement isolé des autres pour tous les rapports, la population apparemment vicariante de Sadamakou Poussi ayant montré des ressemblances avec celles de Gabaraïrou 2 pour le rapport h/LO, Kousséri pour h/LO et HO/h et Sadamakou Bassali pour H/h, H/LO, h/LO et HO/L. Ces résultats confirment l'appartenance de toutes ces populations à une seule et même espèce *Bulinus senegalensis* Müller, 1781.

III.2.4. Infestation naturelle des mollusques

Les mollusques prélevés dans les sites de récolte ont émis des furcocercaires et des cercaires monocerques. *Bulinus forskalii* s.s. a été reconnu comme hôte intermédiaire de *Schistosoma intercalatum* (aujourd'hui *Schistosoma guineensis*) au Cameroun (Wright *et al.*, 1972 ; Greer *et al.*, 1990), au Gabon (Brown *et al.*, 1984), à Saõ Tomé (Brown *et al.*, 1989 ; Brown, 1991), au Nigeria (Arene *et al.*, 1989), et en Guinée Equatoriale (Simarro *et al.*, 1990). Cette espèce de mollusque peut aussi transmettre *Schistosoma bovis* (Kinoti, 1964 ; Southgate & Knowless, 1975 a et b ; Majid *et al.*, 1980 ; Mutani *et al.*, 1983 ; Diaw & Vassiliadès, 1987 ; Mwambungu, 1988), *Schistosoma margrebowiei* (Wright, Southgate & Howard, 1979), *Echinostoma liei* (monocerque) (Christensen *et al.*, 1980) et *Calicophoron microbothrium* (Fischöder, 1901) (monocerque) (Graber & Daynes, 1974 ; Tager Kagan, 1977).

Bulinus forskalii s.s. n'a encore été reconnu comme hôte intermédiaire de *Schistosoma haematobium* dans aucun foyer de transmission (Rollison & Simpson, 1987 ; Brown, 1994), mais il transmet son hybride avec *Schistosoma intercalatum* (aujourd'hui *Schistosoma guineensis*) à Loum (Southgate *et al.*, 1976) et à Kinding Ndjabi (Ratard & Greer, 1991) ; il est aussi hôte intermédiaire de *Schistosoma bovis* déjà signalé dans les régions soudano-sahéliennes (Ngonseu *et al.*, 1991). Par contre, *Bulinus senegalensis* est un hôte intermédiaire important dans la transmission de *Schistosoma haematobium* en Gambie (Smithers, 1956 ; Goll & Wilkins, 1984), au Niger (Véra *et al.*, 1992), au Nigéria (Betterton *et al.*, 1988), au Cameroun (Greer *et al.*, 1990) ; il transmet aussi *Calicophoron microbothrium* (Fischöder, 1901) et *Echinostoma revolutum* (Fröhlich, 1802) (Huffman & Fried, 1990), toutes des cercaires monocerques de parasites des oiseaux et des mammifères.

Les sites de récolte de mollusques ayant présenté des émetteurs de furcocercaires se situent tous au nord de 7° de latitude-Nord, dans les principales zones d'élevage du bétail dont les zébus et les taurins (Neba Suh, 1987) de l'ordre des Artiodactyla dans laquelle se recrutent les hôtes définitifs de *Schistosoma bovis*, *Schistosoma curassoni*, *Schistosoma matthei* et *Schistosoma leiperi* (Rollison & Simpson, 1987) qui n'ont jamais été formellement identifiés au Cameroun ; des études ultérieures nous permettraient d'apporter davantage de précisions dans l'identification de ces cercaires. Parallèlement à nos travaux, Kamwa Ngassam (Communication personnelle) a trouvé des prévalences variant de 16,67% à 75,86% pour la bilharziose urinaire chez les enfants d'âge scolaire dans quelques villages de l'arrondissement de Bourkoumandji, qui couvre les localités de Gabarairou, Madalam et Kai-Kai dans lesquelles des taux non nuls

d'émission de furcocercaires par *Bulinus senegalensis* ont été enregistrés. Une identification spécifique de ces furcocercaires pourrait permettre d'apporter encore plus d'informations sur le rôle joué par *Bulinus senegalensis* dans la dynamique de transmission de la bilharziose urinaire à *Schistosoma haematobium* dans les régions soudano-sahéliennes du Cameroun.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Ce travail a été réalisé dans le cadre d'un programme de recherche sur la compatibilité entre les espèces de mollusques du groupe *Bulinus forskalii* et les schistosomes à éperon terminal au Cameroun. Aussi avons-nous jugé nécessaire de commencer par une analyse morphologique et morphométrique de la coquille pour (1) une bonne identification des espèces et (2) une appréciation des variations dans les populations des espèces de ce groupe au Cameroun, ceci depuis la région forestière jusqu'aux steppes à épineux de la région de Kousséri, en relation avec l'écologie des sites de récolte, les sites de transmission des parasites ne couvrant pas entièrement l'aire de répartition des hôtes intermédiaires. Nous avons ainsi confirmé le caractère ubiquiste de *Bulinus forskalii* s.s. et de *Bulinus senegalensis* dans leurs aires de répartition déjà connues, dont les caractéristiques physico-chimiques des sites de récolte vont jusqu'aux eaux voisines de la neutralité, voire légèrement alcalines, et permettent par leur caractère temporaire dans les domaines sahéliens et soudano-sahéliens à *Bulinus senegalensis* de satisfaire ses exigences d'estivation. Les deux espèces de mollusques, morphologiquement semblables, ont une coquille pyriforme, lisse chez *Bulinus senegalensis* mais carénée chez *Bulinus forskalii* s.s. sur au moins un tour, avec des stries longitudinales fortes ou discrètes et dont la couleur varie en fonction de la latitude et de l'écologie, de brunâtre en domaine équatorial et subéquatorial au brun-ocre, voire diaphane en domaine soudano-sahélien, apparemment en relation avec le degré d'exposition du site à la lumière du soleil.

Les mensurations obtenues sur la hauteur de la coquille, la hauteur de la spire, la hauteur de l'ouverture, le diamètre maximal, la largeur de l'ouverture et le nombre de tours demeurent dans la marge de variation observée par Brown (1980 ; 1994). Toutefois, nous avons noté que les valeurs maximales, ainsi que les moyennes de tous ces paramètres sont plus élevées chez *Bulinus forskalii* s.s., à l'exception du diamètre maximal (h) dont la valeur chez *Bulinus senegalensis* (h = 5,50 mm à Gabarairou 1) est plus grande que celle de *Bulinus forskalii* s.s. (h = 5,00 mm à Sangmélima). Généralement turriculée chez *Bulinus forskalii* s.s., la coquille de l'échantillon de Marao a montré une hauteur inférieure au double du diamètre maximal ($H < 2h$). Dans les deux espèces de mollusques, les autres paramètres morphométriques sont fortement corrélés à la hauteur de la coquille ; celle-ci constitue ainsi le caractère principal auquel les autres sont subordonnés. Enfin, en dehors de certains sites qui ont présenté soit une faible minéralisation des eaux, soit des perturbations écologiques fréquentes, la hauteur de la coquille de *Bulinus forskalii* s.s. a progressivement diminué, depuis la zone équatoriale jusqu'à la zone sahélienne, suggérant l'existence d'un morphocline.

La comparaison des mensurations obtenues sur les coquilles de *Bulinus forskalii* s.s. a montré 12,12% de cas de ressemblances aux différents paramètres conchyliologiques entre les échantillons, à l'exception des échantillons de Marao et Sangmélina qui sont relativement distantes des autres échantillons, suggérant un début de vicariance, d'autant plus que ces populations sont situées aux extrémités de notre cline. Toutefois, la comparaison des rapports allométriques beaucoup plus stables n'a pas confirmé cette vicariance, aucune population n'ayant été révélée totalement isolée des autres, confirmant leur appartenance à une même espèce. Enfin, une comparaison entre les échantillons de *Bulinus forskalii* s.s. de Dang, Marao et Yagoua dont la hauteur de la coquille nous a semblé proche des valeurs obtenues par Mimpfoundi *et al.* (1999) sur *Bulinus camerunensis* nous a donné seulement 20,00% (6 cas sur 30) de ressemblance entre ces deux espèces de bulins qui, associés aux autres différences, nous amènent à confirmer la validité de l'espèce *Bulinus camerunensis*.

Bulinus senegalensis, dont les mensurations sont plus petites que celles de *Bulinus forskalii* s.s., à l'exception du diamètre maximal, a présenté une grande diversité de morphotypes avec toutefois des cas de ressemblances aux différents paramètres, à l'exception de l'échantillon de la mare temporaire de Sadamakou Poussi qui s'est montré totalement isolé des autres. Cette particularité n'a pas résisté à la comparaison des rapports allométriques ayant montré beaucoup de similitudes avec les autres échantillons et confirmé leur appartenance à une même espèce.

Bulinus forskalii s.s. et *Bulinus senegalensis* sont des hôtes intermédiaires confirmés dans la transmission des schistosomes humains ou du bétail, et nous avons identifié dans nos récoltes des mollusques émetteurs de furcocercaires morphologiquement et éthologiquement semblables à celles du genre *Schistosoma* Weinland, 1858. Les foyers actifs de bilharziose connus étant souvent limités à certains sites de transmission isolés dans l'aire de répartition de l'espèce, nous pensons utile de poursuivre des recherches sur l'identification spécifique de ces cercaires.

Perspectives

Nous envisageons, dans nos travaux ultérieurs, de poursuivre des recherches sur :

1- la diversité génétique au sein du groupe *Bulinus forskalii* et le rôle joué par les paramètres physico-chimiques et les facteurs écologiques locaux sur la répartition de cette espèce à travers le pays ;

2- l'identification spécifique des cercaires émises en conditions naturelles par les espèces de mollusques du groupe *Bulinus forskalii*, pour une meilleure compréhension de la modulation de la compatibilité entre les souches de schistosomes et les populations de mollusques hôtes intermédiaires.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Achiri Tange D., 2014.** *Introduction to statistical methods and experimentation for life sciences.* Ed. Njualem D. K., pp.145-202.
- Adanson M., 1757.** *Histoire naturelle de Sénégal. Coquillages.* Paris. In. Brown D. S., 1994. *Freshwater snails of Africa and their medical importance.* Revised 2nd Edition. London : Taylor & Francis Ltd., pp. 15-20.
- Arene F. O., Ukpeibo E. T. & Nwanze E. A., 1989.** Studies on schistosomiasis in the Niger Delta: *Schistosoma intercalatum* in the urban city of Port Harcourt, Nigeria. *Public Health*, **103** (4): 295-301.
- Azevedo J. & Frasadé, 1956.** Rapport sur les bilharzioses humaines au Cameroun français. World Health Organization Conference / 49, 19 octobre 1956 : 18p.
- Baccini A., 2010.** *Statistique descriptive multidimensionnelle (pour les nuls)*, Institut de Mathématiques de Toulouse UMR CNRS 5219 : 33p.
- Bertness M. D., 1980.** Growth and mortality in the ribbed mussel *Genkensia demissa*. *Veliger*, **23**: 62-69.
- Betterton C., 1984.** Spatiotemporal distributional patterns of *Bulinus rohlfsi*, *Bulinus forskalii* and *Bulinus senegalensis* in newly irrigated areas in Northern Nigeria. *Journal of Molluscan studies*, **50**: 137-152.
- Betterton C., Fryer S. E. & Wright C. A., 1983.** *Bulinus senegalensis* (Mollusca: Planorbidae) in northern Nigeria. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, **77**: 143-149.
- Betterton C., Ndifon G. T., Bassey S. E., Tan R. M. & Oyeyi T., 1988.** Schistosomiasis in Kano State, Nigeria. 1. Human infections near dam sites and the distribution and habitat preferences of potential snail hosts. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, **82**: 561-570.
- Brown D. S., 1980.** *Freshwater snails of Africa and their medical importance.* 1st Edition. London: Taylor & Francis Ltd., pp. 153-383.
- Brown D. S., 1991.** Freshwater snails of São-Tomé, with special reference to *Bulinus forskalii* (Ehrenberg, 1831), host of *Schistosoma intercalatum*. *Hydrobiologia*, **209**: 141-153.
- Brown D. S., 1994.** *Freshwater snails of Africa and their medical importance.* Revised 2nd Edition. London: Taylor & Francis Ltd., pp. 175-501.

- Brown D. S., 1996.** Systematic malacology: the foundation of snail-schistosome studies. In : Madsen H., Kristensen T. K., Ndlovu P., eds. *Proceedings of the Danish Bilharziasis Laboratory workshop, Zimbabwe 1995*. 'A status of research of Medical Malacology in Relation to Schistosomiasis in Africa'. Charlottenlund: Danish Bilharziasis Laboratory, pp. 27-46.
- Brown D. S., Gracio M. A., Moore P. J., Rollinson D., Romero R. & Southgate V. R., 1989.** The snail host for schistosomiasis in São Tome. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **84** (8): 12-813.
- Brown D. S., & Kristensen T. K., 1993.** *A field guide to African freshwater snails: I. West African species*. Danish Bilharziasis Laboratory, Charlottenlund: 55p.
- Brown D. S., Oberholzer G. & Van Eeden J. A., 1971a.** The *Bulinus natalensis/tropicus* complex in Southeastern Africa: 1, Shell, mantle, copulatory organ and chromosome number. *Malacologia*, **11**: 141-170.
- Brown D. S., Oberholzer G. & Van Eeden J. A., 1971b.** The *Bulinus natalensis/tropicus* complex in Southeastern Africa: 2, Some biological observation, taxonomy and general discussion. *Malacologia*, **11**: 171-198.
- Brown D. S., Sarfati C., Southgate, V. R., Ross G. C. & Knowles R. J., 1984.** Observations on *Schistosoma intercalatum* in south-east Gabon. *Zeitschrift für Parasitenkunde*, **70**: 241 - 257.
- Brown D. S. & Shaw K. M., 1989.** Freshwater snails of the *Bulinus truncatus/ Bulinus tropicus* complex in Kenya: tetraploid species. *Journal of Molluscan Studies*, **55**: 509-532.
- Brown D. S., Shaw K. M. & Rollinson D., 1991.** Freshwater snails of the *Bulinus truncatus tropicus* complex (Basomatophora: Planorbidae) in Kenya: diploid population. *Journal of Molluscan studies*, **57**: 143-166.
- Christensen N. O., Frandsen F. & Roushdy M. Z., 1980.** The influence of environmental conditions and parasite-intermediate host-related factors on the transmission of *Echinostoma liei*. *Zeitschrift für Parasitenkunde*, **63** : 47-63.
- Combes C., 1989.** *ABC de Parasitologie Probabiliste et Statistique*. CNRS : 92p.

- Danish Bilharziasis Laboratory, 1998.** A field guide to African freshwater snails. Introduction. Danish Bilharziasis Laboratory, Charlottenlund Denmark: 75p.
- Deschiens R. & Delas A., 1968.** La répartition géographique des bilharzioses humaines au Cameroun. *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, **61** : 5.
- Diaw O. T., Albaret J. L., Picot H., Bayssade-Dufour C., Vassiliadès G., Adamson M., Luffau G. & Chabaud A. G., 1984.** Schistosomes à éperon terminal du Sénégal. *Annales de Parasitologie Humaine Comparée*, **59** (5) : 527-528.
- Diaw O. T., Seye M., & Sarr Y., 1989.** Résistance à la sécheresse des mollusques du genre *Bulinus*, vecteurs de trématodoses humaines et animales au Sénégal. 2. Etude dans les conditions naturelles en zone Nord-Soudanienne. Ecologie de la résistance de *Bulinus umbilicatus* et *Bulinus senegalensis*. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **42** : 177-187.
- Diaw O. T. & Vassiliadès G., 1987.** Epidémiologie des schistosomes du bétail au Sénégal. *Revue d'Elevage et de Médecine vétérinaire des Pays tropicaux*, **40** : 265-274.
- Dogba K. M. & Jernes J. E., 1985.** Preliminary observations on geographical variation in enzymes of African intermediate hosts of schistosomes: the genera *Bulinus* and *Biomphalaria* from Togo. *Hereditas*, **103**: 231-233.
- Duke B. O. & Moore P. J., 1976.** The use of molluscicides in conjunction with chemotherapy to control *Schistosoma haematobium* at the Barombi lakes foci in Cameroon. *Tropenmedizin und Parasitologie*, **27**: 297-508.
- Fashuyi S. A., 1981.** Observations on the ecology of *Bulinus (Physopsis) globosus* (Morelet) *Bulinus forskalii* (Ehrenberg) and *Lymnaea natalensis* (Krauss) in rice swamps in Sierra Leone. *Journal of Molluscan Studies*, **47** (3): 328-333.
- Fischer-Piette E., 1942.** Les mollusques d'Adanson. *Journal de Conchyliologie, Paris*, **85**: 103-374.
- Gaud J., 1955.** Les bilharzioses en Afrique Occidentale et en Afrique Centrale. *Bulletin of the World Health Organization*, **13**: 209-258.

- Goll P. H., 1981.** Mixed populations of *Bulinus senegalensis* and *B. forskalii* (Ehrenberg) (Mollusca: Planorbidae) in the Gambia. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **75**: 576-578.
- Goll P. H. & Wilkins H. A., 1984.** Field studies on *Bulinus senegalensis* Müller and the transmission of *Schistosoma haematobium* infection in a Gambian community. *Tropenmedizin und Parasitologie*, **35**: 29-36.
- Gow J. L., Noble L. R., Rollinson D. & Jones C. S., 2001.** Polymorphic microsatellites in the African freshwater snail *Bulinus forskalii* (Gastropoda: Pulmonata). *Molecular Ecology Notes*, **1**: 237-240.
- Gow J. L., Noble L. R., Rollinson D., Mimpfoundi R. & Jones C. S., 2004.** Breeding systems and demography shape population genetic structure across ecological and climatic zones in the African freshwater snail, *Bulinus forskalii* (Gastropoda, Pulmonata), intermediate host for schistosomes. *Molecular Ecology*, **13**: 3561-3573.
- Graber M. & Daynes P., 1974.** Mollusques vecteurs de Trématodoses humaines et animales en Ethiopie. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **27** : 307-332.
- Green J., Corbet S. A. & Betney E., 1974.** Ecological studies on crater lakes in West Cameroon, Debunscha lake. *Journal of Zoology*, **173**: 199-223.
- Greer J. G., Mimpfoundi R., Malek E. A., Joky A. Ngonseu E. & Ratard R. C., 1990.** Human schistosomiasis in Cameroon. 2. Distribution of the snail hosts. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **42**: 573-580.
- Guichard E., 1955.** Etude pédologique de la plaine alluviale du Mayo Guerléo à Yagoua (Cameroun). Fort-Lamy : ORSTOM : 14 p.
- Hampton R. E. & Havel J. E., 2006.** *Introductory Biological Statistics*; Second edition, Waveland Press, Inc., pp. 135-175
- Huffman J. E. & Fried B., 1990.** *Echinostoma* and echinostomiasis. *Advances in Parasitology*, **29**: 215-269.
- Hugues J. M. & Mather P. B., 1986.** Evidence for predation as a factor in determining shell color frequencies in Mangrove snail *Littorina* sp. (Prosobranchia: Littorinidae). *Evolution*, **40** (1): 68-70.

- Jelnes J. E., 1979.** Experimental taxonomy of *Bulinus*. 2. Recipes for horizontal gel electrophoresis of 10 enzymes in *Bulinus* and description of internal standard systems and two new species of the *B. forskalii* complex. *Journal of Chromatography*, **170**: 405-411.
- Jelnes J. E., 1980.** Experimental taxonomy of *Bulinus*. 3. Electrophoretic observations of *B. forskalii*, *B. browni*, *B. barthi* and *B. scalaris* from East Africa, with additional electrophoretic data on the subgenus *Bulinus* s.s. from the other parts of Africa. *Streenstrupia*, **6**: 177-193.
- Jelnes J. E., 1985.** Experimental taxonomy of *Bulinus* - past and future activities. *Videnskabelige Meddelelser fra Dansk Naturhistorisk Forening i Kobenhavn*, **146**: 85-100.
- Jelnes J. E., 1986.** Experimental taxonomy of *Bulinus* (Gastropoda: Planorbidae): the West and North African species reconsidered, based upon an electrophoretic study of several enzymes per individual. *Zoological Journal of the Linnean Society*, **87**: 1-26.
- Jelnes J. E., 1991.** Morphometry versus classical and experimental taxonomy: a dilemma posed by studies on West African *Bulinus*. *Journal of Molluscan Studies*, **57**: 297-299.
- Jones C. S., Noble L. R., Ouma J., Kariuki H. C., Mimpfoundi R., Brown D. S. & Rollinson D., 1999.** Molecular identification of *Schistosoma* intermediate hosts: case studies of *Bulinus forskalii* group species (Gastropoda: Planorbidae) from Central and East Africa. *Biological Journal of the Linnean Society*, **68**: 215-240.
- Jones C. S., Rollinson D., Mimpfoundi R., Ouma J., Kariuki H. C. & Noble L. R., 2001.** Molecular evolution of freshwater snail intermediate hosts within the *Bulinus forskalii* group. *Parasitology*, **123**: 277-292.
- Kinoti G. K., 1964.** A note on the susceptibility of some gastropod molluscs to *Schistosoma bovis* and *Schistosoma matthei*. *Annals of Tropical Medecine and Parasitology*, **58**: 270-279.
- Kristensen T. K., 1986.** The significance of numerical taxonomy in the analysis of morphological differences between the taxa of *Bulinus*: *B. africanus* group from East Africa. *Proceedings of the 8th International Malacological Congress*. Pinter, L. (Eds). Budapest: Hungarian Natural History Museum, pp. 131-136.

- Kristensen T. K., 1988.** Identification key to the schistosomes intermediate host snails of Cameroon and Gabon. *Bulletin de la Société Française de Parasitologie*, **6 (2)** : 169 – 182.
- Kristensen T. K., 1992.** *Bulinus forskalii* group species in East Africa reconsidered by morphometric analysis of morphological characters. *Journal of Medical and Applied Malacology*, **4**: 103-112.
- Kristensen T. K. & Christensen A. G., 1989.** *Bulinus africanus*-group species in West Africa differentiated by morphometric analysis. *Journal of Molluscan Studies*, **55**: 103-110.
- Kristensen T. K. & Christensen A. G., 1991.** Morphometry versus electrophoresis in *Bulinus* taxonomy – a reply. *Journal of Molluscan Studies*, **57**: 299-300.
- Kristensen T. K., Frandsen F. & Christensen A. G., 1987.** *Bulinus africanus*-group snails in East and South-East Africa differentiated by use of biometric multivariate analysis on morphological characters. *Revue de Zoologie Africaine*, **101**: 55-69.
- Lamotte M., 1967.** *Initiation aux méthodes statistiques en Biologie*. Masson et Cie, Paris, p. 87-144.
- Langand J., Barral V., Delay B. & Jourdan J., 1993.** Detection of genetic diversity within snail intermediate hosts of the genus *Bulinus* by using Random Amplified Polymorphic DNA markers (RAPDs). *Acta Tropica*, **55**: 205-215.
- Letouzey R., 1968.** Carte phytogéographique du Cameroun. Atlas du Cameroun. I.R.C.A.M, Yaoundé, 1960.
- Letouzey R., 1985.** Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1/500000. Document Institut des Recherches Agricoles (Herbier National, Yaoundé, Cameroun), I.C.I.V. Toulouse, France, pp. 98-142.
- Loker E.S., Moyo H. G. & Gardner S. L., 1981.** Trematode-gastropod associations in 9 non-lacustrine habitats in the Mwanza region of Tanzania. *Parasitology*, **83**: 381-399.
- Magzoub M. & Kasim A. A., 1980.** Schistosomiasis in Saudi Arabia. *Annals of Tropical Medicine and Hygiene*, **74**: 511-513.
- Majid A. A., Marshall T. F., Hussein M. F., Bushara H. O., Taylor M. G. & Nelson G. S., 1980.** Observations on cattle schistosomiasis in the Sudan, a study in comparative medicine. 1. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **29**: 435-441.

- Malek E. A., 1985.** Snail hosts of schistosomiasis and other snail transmitted diseases in tropical America. *A Manual. Pan American Health Organisation*. Scientific publication N° 478., pp. 241-284.
- Malek A. E. & Cheng T. C., 1974.** *Medical and economic malacology*. Academic Press, New York and London. Ltd., pp. 36-154 & 321-381.
- Mandahl-Barth G., 1957.** Intermediate hosts of *Schistosoma*, African *Biomphalaria* and *Bulinus*. 2. *Bulinus*. *Bulletin of the World Health Organization*, **17**: 1-65.
- Mandahl-Barth G., 1958.** Intermediate hosts of *Schistosoma*, African *Biomphalaria* and *Bulinus*. *Bulletin of the World Health Organization*, **37**: 1-132.
- Mandahl-Barth G., 1965.** The species of the genus, intermediate hosts of *Schistosoma*. *Bulletin of World Health Organisation*, **33**: 33-44.
- Mélingui A., Gwanfogbe M., Nguoghia J. & Mounkam J., 1983.** *Géographie du Cameroun*. Edicef. Paris, pp. 50-120.
- Mimpfoundi R., 1983.** Compartiment mollusques et compartiment cercaires dans quelques sites de transmission de la schistosomose intestinale à Yaoundé : données systématiques, écologiques et épidémiologiques. Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle, Université de Yaoundé : 123p.
- Mimpfoundi R., 1990.** Variations génétiques intra- et interpopulationnelles chez les Planorbidae tropicaux : le polymorphisme enzymatique dans les genres *Biomphalaria* Preston, 1910 et *Bulinus* Müller, 1781 au Cameroun. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Yaoundé : 220p.
- Mimpfoundi R. & Greer G.J., 1989.** Allozyme comparison among species of the *Bulinus forskalii* group (Gastropoda: Planorbidae) in Cameroon. *Journal of Molluscan Studies*, **55**: 405-410.
- Mimpfoundi R. & Greer J. G., 1990a.** Allozyme comparison and ploidy levels among species of *Bulinus truncatus/tropicus* complex (Gastropoda: Planorbidae) in Cameroon. *Journal of Molluscan Studies*, **56**: 63-68.
- Mimpfoundi R. & Greer J. G., 1990b.** Allozyme variations among populations of *Bulinus forskalii* (Ehrenberg, 1831) in Cameroon. *Journal of Molluscan studies*, **56**: 363-371.

- Mimpfoundi R., Moyou Somo R. & Ndjamen B., 1999.** Observations on shell morphology and electrophoresis of *Bulinus camerunensis* from Debundscha. *Proceedings of workshop on Medical and Veterinary Malacology in Africa*, Harare, Zimbabwe, 8 – 12 November 1999, 249-258.
- Mimpfoundi R. & Ndassa A., 1999.** Morphological studies on *Bulinus* sp. from Nchout Monoun (Cameroon). *Proceedings of workshop on medical and veterinary malacology in Africa*. Harare, Zimbabwe, 8-12 November 1999: 239-247.
- Mimpfoundi R. & Sloomweg R., 1991.** Further observations on the distribution of *Bulinus senegalensis* Müller in Cameroon. *Journal of Molluscan Studies*, **57**: 487-489.
- Mukaratirwa S., Kristensen T. K., Seigismund H. R. & Chandiwana S. K., 1998.** Genetic and morphological variation of populations belonging to the *Bulinus truncatus / tropicus* complex (Gastropoda: Planorbidae) in South-Western Zimbabwe. *Journal of Molluscan Studies*, **64**: 425-446.
- Murray R. S., 1992.** *Schaum's outline of theory and problems of statistics*. 2nd edition in SI Units. Metric Edition, Schaum's Outline Series, p. 57-109.
- Mutani A., Christensen N. O & Frandsen F., 1983.** Studies on the relationship between *Schistosoma* and their intermediate hosts. 5. The genus *Bulinus* and *Schistosoma bovis* from Iringa, Tanzania. *Zeitschrift für Parasitenkunde*, **69** (4): 483-487.
- Mwambungu J. A., 1988.** Transmission of *Schistosoma bovis* in Mkulwe (Mbozi district, Mbeya Region, Southern Highlands of Tanzania). *Journal of Helminthology*, **63**: 29-32.
- Ndassa A., 2008.** Taxinomie, phylogénie moléculaire de *Bulinus* sp. diploïde (Gastéropodes: Planorbidae) des lacs volcaniques de l'Ouest-Cameroun et susceptibilité à *Schistosoma haematobium* (Bilharz, 1852). Thèse de Doctorat/PhD. Université de Yaoundé I : 154p.
- Ndibewu P., 2000.** Les nouveaux outils de la communication facilitent le sauvetage des populations autour du Mont Cameroun. Afrique, Technologie, Information et Développement (AFTIDEV) : www.aftidev.net/fr/ressources/fiches/alpha.phtml.
- Neba Suh A., 1987.** *Géographie moderne de la République du Cameroun*. Editions Aaron SUH NEBA, Camdem, New Jersey 08101, USA, pp. 113-211.

- Ngonseu E., Greer G. J. & Mimpfoundi R., 1991.** Dynamique des populations et infestation de *Bulinus globosus* en zone soudano-sahélienne du Cameroun. *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, **71**: 295-306.
- Ngonseu E., Greer G. J., & Mimpfoundi R., 1992.** Dynamique des populations et infestation de *Bulinus truncatus* et *Bulinus forskalii* par les larves de schistosomes en zone soudano-sahélienne au Cameroun. *Annales de la Société Belge de Médecine Tropicale*, **72**: 311-320.
- Okezie Akobundu I. & Agyakwa C. W., 1987.** *A handbook of west African weeds*. The International Institute of Tropical Agriculture, Ibadan, Nigeria, pp. 9-132.
- Olivry J. C., 1986.** *Fleuves et rivières du Cameroun*. Collection « Monographies hydrographiques ORSTOM » N°9 Paris, pp. 15-20 & 55-577.
- Pagès J-R., Jourdane J., Southgate V. R. & Tchuem Tchuente L. A., 2003.** Reconnaissance de deux espèces jumelles au sein du taxon *Schistosoma intercalatum* Fischer, 1934, agent de la schistosomose humaine rectale en Afrique. Description de *Schistosoma guineensis* n. sp. In : Combes C. & Jourdane J. (Eds.) *Taxonomie, Ecologie et Evolution des Métazoaires Parasites*, Vol. II. Presses Universitaires de Perpignan, Perpignan : 139-147.
- Pearson K., 1901.** On lines and planes of closest fit to systems of points in space, *Philosophical Magazine and Journal of Science*, **6 (2)**: 559-572.
- Powers D. A. & Place A. R., 1978.** Biochemical genetics of *Fundulus heteroclitis* (L). I. Temporal and spatial variation in gene frequencies of Ldh-B, Mdh-A, Gpi-B and Pgm-A. *Biochemical Genetics*, **16**: 593-607.
- Ratard R. C. & Greer G. J., 1991.** A new focus of *Schistosoma haematobium* / *Schistosoma intercalatum* hybrid in Cameroon. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **45**: 332-338.
- Ratard R. C., Koueméni L. E., Ekani Bessala M. M., Ndamkou C. N., Greer G. J., Spilburg J. & Cline B. L., 1990.** Human schistosomiasis in Cameroon. I. distribution of schistosomiasis. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, **42 (6)**: 561-572.
- Regnault J. M., 1986.** Synthèse géologique du Cameroun. Ministère des Mines et de l'Énergie, Yaoundé, Cameroun, pp. 46-119.
- Rodier J., Legube B., Marlet N. & Brunet R., 2009.** *L'analyse de l'eau*. 9^e édition, Dunod, Paris, France, pp. 50-122.

- Rollinson D. & Simpson A. J. G., 1987.** *The biology of schistosomes*. From genes to latrines. London Academic Press, Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, pp. 102-172.
- Saitou N. & Nei M., 1987.** The Neighbor-joining Method: a new Method for Reconstructing Phylogenetic Trees. *Molecular Biology and Evolution*, **4**: 406-425.
- Samé Ekobo A., 1984.** Faune malacologique du Cameroun. Distribution, répartition des mollusques dulçaquicoles et foyers de trématodoses humaines. Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Rennes : 623p.
- Schwartz D., 1983.** *Méthodes statistiques à l'usage des Médecins et des Biologistes*. 3^{ème} édition. Flammarion. Médecine Sciences, pp. 57-135.
- Sellin B., Simonkovich E. & Roux J. 1980.** Etude de la répartition des mollusques hôtes intermédiaires des schistosomes en Afrique de l'Ouest. *Médecine Tropicale*, **40**: 31-39.
- Show K. M. & Brown D. S., 1986.** Multivariate analysis of morphometric studies in *Bulinus*. In *Proceedings 8th International Malacological Congress, Budapest, 1983 (L. Pinter ed.)*, Hungarian National History Museum, Budapest: 239-243.
- Simarro P. P., Sima F. O. & Mir M., 1990.** Urban epidemiology of *S. intercalatum* in the city of Bata, Equatorial Guinea. *Tropical Medicine and Parasitology*, **41**: 254-256.
- Smithers S. R., 1956.** On the ecology of schistosome vectors in the Gambia, with evidence of their role in transmission. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **50**: 354-365.
- Sonsino P., 1876.** On a new parasite of cows, *Bilharzia bovis*. *Rendicondi dell' Accademia della Scienze Fisiche Matematiche Napoli*, **15**: 87 – 87.
- Southgate V. R. & Knowles R. J., 1975a.** Observations on *Schistosoma bovis* Sonsino, 1876. *Journal of Natural History*, **9**: 273-314.
- Southgate V. R. & Knowles R. J., 1975b.** Studies on *Schistosoma bovis* from different geographical areas. *Proceedings of Second European Multiquolloquium of Parasitology*, Trogir: 135-142.
- Southgate V. R., Van Wijk H. B. & Wright C. A., 1976.** Schistosomiasis at Loum, Cameroon: *Schistosoma haematobium*, *Schistosoma intercalatum* and their natural hybrid. *Zeitschrift für Parasitenkunde*, **49**: 145-159.

- Suchel J. B., 1987.** *Les climats du Cameroun*. Thèse Doctorat d'Etat Université de Bordeaux III : 1186p.
- Tager-Kagan P., 1977.** Contribution à l'étude de l'épidémiologie des principales trématodoses des animaux domestiques dans la région du fleuve Niger. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **30** : 11-18.
- Takahiro I., 2006.** Geographical variation of shell morphology in *Cypraea annulus* (Gastropoda: Cypraeidae). *Journal of Molluscan Studies*, **72**: 31-38.
- Takahiro I. & Iwasa Y., 2003.** Optimal growth model for the latitudinal cline of shell morphology in cowries (genus *Cypraea*). *Evolutionary Ecology Research*, **5**: 1133 – 1149.
- Takamura K., Nei M. & Kumar S., 2004.** Prospects for Inferring Very Large Phylogenies by Using the Neighbor-Joining Method. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **101**: 11030-11035.
- Tchuem Tchuenté L.A., Dongmo N.C., Kamwa Ngassam R.I., Kenfack C.M., Feussom G.N., Dankoni E., Tariri A., Zhang Y., 2013.** Mapping of schistosomiasis and soil-transmitted helminthiasis in the regions of Littoral, North-West, South and South-West Cameroon and recommendations for treatment. *BMC Infect Dis* **13**: 602.
- Tchuem Tchuenté L.A., Kamwa Ngassam R.I., Sumo L., Ngassam P., Dongmo N.C., Luogbou Nzu D.D., Dankoni E., Kenfack M.C., Feussom G.N., Akame J., Tariri A., 2012.** Mapping of schistosomiasis and soil-transmitted helminthiasis in the regions of Centre, East and West Cameroon. *PLoS Neglected Tropical Diseases* **6** (3) : e1553.
- Véra C., Mouchet F., Brémond P. & Sidiki A., 1992.** Natural infection of *Bulinus senegalensis* by *S. haematobium* in a temporary pool focus in Niger: characterisation by cercarial emergence patterns. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **86**: 62.
- Wade M. S. & Mc Cauley D. E., 1988.** Extinction and recolonization: their effects on genetic differentiation of local populations. *Evolution*, **42**: 995 – 1005.
- Webbe G., 1962.** The transmission of *Schistosoma haematobium* in an area of Lake Province, Tanganyika. *Bulletin of the World Health Organisation*, **27**: 59-85.

- Whittlock M. C. & Mc Cauley D. E., 1990.** Some population genetic consequences of colony formation and extinction: genetic correlation within founding groups. *Evolution*, **44**: 1717-1724.
- Wibaux-Charlois M., Yelnik A., Ibrahima H., Samé-Ekobo A. & Ripert, C., 1982.** Etude épidémiologique de la bilharziose à *S. haematobium* dans le périmètre rizicole de Yagoua (Nord-Cameroun). 2. Distribution et écologie des hôtes intermédiaires. *Bulletin de la Société de Pathologie exotique*, **75**: 72-93.
- Wright C. A. 1957.** Studies on the structure and taxonomy of *Bulinus jousseaumei* (Dautzenberg). *Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology*, **5**: 1-28.
- Wright C. A., 1959.** A note on the distribution of *Bulinus senegalensis*. *West African Medical Journal*, **8**: 142-148.
- Wright C. A., 1965.** The freshwater Gastropod molluscs of west Cameroon. *Bulletin of the British Museum Natural History, Zoology*, **13**: 75-98.
- Wright C. A., 1971.** *Bulinus* on Aldabra and the subfamily Bulininae in the Indian Ocean area. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B*, **260**: 299-313.
- Wright C. A. & Ross G. C., 1966.** Electrophoretic studies on planorbid egg proteins. The *Bulinus africanus* and *B. forskalii* species groups. *Bulletin of the World Health Organisation*, **35**: 727-731.
- Wright C. A., Southgate V. R. & Howard G. W., 1979.** Observations on the life-cycle of *Schistosoma margrebowiei* and its possible interactions with *S. leiperi* in Zambia. *Journal of Natural History*, **13**: 499-506.
- Wright C. A., Southgate V. R. & Knowles R. J., 1972.** What is *Schistosoma intercalatum* Fisher, 1934? *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, **66**: 28-64.
- Zahra A., 1953.** Some notes on the incidence of schistosomiasis in the southern Cameroon. *West African Medical Journal*, **2**: 26-29.

ANNEXE

Publication issue de la thèse

Parfait Laurent BASGA, Romuald Isaka KAMWA NGASSAM, Philippe Bienvenu NWANE, Dili Sidi OUSMAN ILA & Rémy MIMPFOUNDI, **2023**. Morphological variations among populations of *Bulinus forskalii* (Ehrenberg, 1831) from Cameroon. *Molluscan Research*, **43 (1)**: 50-60.



Morphological variations among populations of *Bulinus forskalii* (Ehrenberg, 1831) from Cameroon

Parfait Laurent Basga, Romuald Isaka Kamwa Ngassam, Philippe Bienvenu Nwane, Dili Siddi Ousman Ila & Rémy Mimpfoundi

To cite this article: Parfait Laurent Basga, Romuald Isaka Kamwa Ngassam, Philippe Bienvenu Nwane, Dili Siddi Ousman Ila & Rémy Mimpfoundi (2023) Morphological variations among populations of *Bulinus forskalii* (Ehrenberg, 1831) from Cameroon, Molluscan Research, 43:1, 50-60, DOI: [10.1080/13235818.2023.2170160](https://doi.org/10.1080/13235818.2023.2170160)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/13235818.2023.2170160>



Published online: 26 Feb 2023.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 90



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)



Morphological variations among populations of *Bulinus forskalii* (Ehrenberg, 1831) from Cameroon

Parfait Laurent Basga^a, Romuald Isaka Kamwa Ngassam^b, Philippe Bienvenu Nwane^a, Dili Siddi Ousman Ila^b and Rémy Mimpfoundi^a

^aLaboratory of Parasitology and Ecology, Faculty of Science, University of Yaounde I, Yaounde, Cameroon; ^bDepartment of Biological Science, University of Maroua, Maroua, Cameroon

ABSTRACT

Climatic stratification from equatorial rainforest to Sahelian savannah in Cameroon implies successive bioclimatic ecosystems, various natural and artificial situations that may generate morphological and genetic adaptation of populations of *Bulinus forskalii* (Ehrenberg, 1831) which is widely distributed throughout the country. The present research was undertaken on 955 snails sampled from 12 populations along a south–north transect to investigate morphological variations of shells. Shell colour varied from dark brown to whitish with Sudano–Sahelian shells being brownish through to whitish, shouldered and strongly carinate. Morphometric characters varied greatly from one population to another, with all shell parameters being highly correlated to shell height. Sudano–Sahelian shells were smaller than equatorial shells. From Sangmélima in the equatorial forest region to Marao in the Sudano–Sahelian region a gradual decrease of shell dimensions was apparent, indicating a morphocline. This could reflect the role played by ecological factors on snail population dynamics.

ARTICLE HISTORY

Received 10 August 2022
Final version received 14
January 2023

KEYWORDS

Africa; Gastropoda;
morphocline; shell
morphology

Introduction

Extending from the Gulf of Guinea to Lake Chad, Cameroon has bioclimatic zones that range from equatorial rainforest in the South to northern Sahelian savannah, favouring the existence of many parasitic diseases including schistosomiasis or bilharziasis, a disease caused by flatworms of the genus *Schistosoma* Weinland, 1858 and transmitted to humans by fresh-water snails of the family Planorbidae, which are widespread in Africa. Due to climate stratification related to rainfall regime, permanent water bodies are more common in the southern equatorial part of Cameroon while temporary pools are numerous in the northern tropical area of the country (Greer et al. 1990).

Several decades ago, taxonomic research was undertaken to facilitate identification of the intermediate hosts of trematodes and determine the epidemiological biogeography of schistosomes (Jones et al. 1999), encouraging biochemical studies using isoenzymes (Mimpfoundi and Greer 1989, 1990; Mimpfoundi 1990), polymerase chain reaction (PCR) with species-specific primers (Jones et al. 1997, 1999) or random amplified polymorphic DNA (RAPDs) (Jones et al. 2001), but few characters proved useful for the determination of relationships between species and they provided limited species identification. This highlights a need for further fundamental malacological research, as some species are being found

experimentally to be potential hosts for foreign strains of parasites in transmission foci (Kengne-Fokam et al. 2018).

Bulinus forskalii (Ehrenberg, 1831), an intermediate host of schistosomes, has a pan-African distribution from lower Egypt to the lower Orange River and eastern Cape Province (Brown 1994), inhabiting various natural environments such as small water bodies (flowing or stagnant), lake margins, pools and swamps. The need for populations to adapt to such ecological diversity makes the species very conchologically variable, with shell dimensions varying considerably (Mandahl-Barth 1958) – some populations even being treated as different species (Jelnes 1986). Unfortunately, interbreeding cannot be considered here as a criterion of species differentiation, since reproduction occurs mainly by self-fertilisation (Mimpfoundi and Greer 1989). Populations of *Bulinus forskalii* appear to be heterogeneous even with regards to infectivity, some being compatible with *Schistosoma intercalatum* Fischer, 1934 or *Schistosoma guineensis* Pagès et al., 2003, which are responsible for intestinal schistosomiasis (Wright et al. 1972; Simarro et al. 1990; Tchuem Tchuente et al. 1997).

In Cameroon, the genetic diversity revealed by isoenzyme studies was rather low, but some alleles showed geographical distribution patterns related to habitats. Slow-migrating alleles in starch gel

electrophoresis of glucose phosphate isomerase (GPI) and isocitrate dehydrogenase (IDH) were associated with equatorial and subequatorial regions and fast migrating alleles with tropical habitats; a slow migrating allele in hydroxybutyrate dehydrogenase (HBDH) was found to be specific to populations from sub-Saharan regions (Mimpfoundi and Greer 1989). Although little genetic variation was found between populations, the size of shells appears to differ between equatorial and tropical habitats. Molecular studies using RAPDs and mitochondrial gene cytochrome *c* oxidase I (COI) sequencing performed on ethanol-preserved field-collected samples throughout Cameroon revealed greater differences between populations from widely separated localities (Jones et al. 1999), although the bootstrap 50% majority-rule consensus tree produced by the maximum parsimony method using partial COI sequences did not clearly identify samples from the South West Region, morphologically distinct *Bulinus camerunensis* Mandahl-Barth, 1957 being genetically similar to *Bulinus forskalii*. As stated by Brown (1996), 'whatever molecular characters are examined it is important to remember that the traditional system of classification is founded on morphology', and that is why the present study was undertaken to assess morphological and morphometric variations of the shell of *Bulinus forskalii* from equatorial regions in the south to Sahelian regions northwards in relation to regional ecological conditions.

Material and methods

Study area and snail collection sites

The study was carried out along a south–north transect including five bio-climatic zones in Cameroon: (1) equatorial zone, (2) subequatorial zone, (3) tropical zone, (4) Sudanian zone, and (5) Sahelian zone. Snails were collected from 12 sites distributed in the five climatic zones (Figure 1): one site in the equatorial zone, one in the subequatorial zone, one in the humid tropical zone, six in the Sudanian zone and three in the Sahelian zone.

Equatorial zone

This region is characterised by an equatorial climate in which the forest contributes to the reinforcement of rainfall and maintains perennial water bodies and abundant vegetation. Snails from this area were collected in Sangmélina, from the surroundings of Lake Elatt (2°93.72'N, 11°98.62'E).

Subequatorial zone

This zone is characterised by a subequatorial climate where precipitation is relatively scarce. Snail samples were collected in Bokito-Yorro (4°53.10'N, 11°10.55'E), a village divided by the Noubomo River that

constitutes the main source of water for local populations. Upstream in the Noubomo River, many small interconnected tributary streams flow through agricultural areas where snails were collected.

Humid tropical zone

This zone is under the influence of the high-altitude, tropical climate that covers the Adamawa Plateau. It is humid with relatively cool mountain conditions. This climate is marked by a long rainy season of about eight months between March and October, with an average annual rainfall of up to 1500 mm. The dry season lasts three to four months, between November and February, with an average annual temperature of 28°C. Snails were collected in Lake Dang (7°19.49'N, 13°55.50'E), near the University of Ngaoundéré. This lake is experiencing high anthropic pressure with several activities such as sanitation, fishing, washing of cars and dumping of refuse leading to a gradual eutrophication and reduction of its size, with abundant vegetation invading the water body.

Sudanian zone

This zone is characterised by a long dry season from November to April, with an average annual precipitation between 400 and 900 mm and average annual temperature between 27 and 28°C. Samples from this zone were collected in Garoua (09°28.02'N, 013°38.38'E) in a marshy area (typical Sudanian climate) and in Yagoua (10°20.34'N, 15°14.26'E) and surrounding sites such as Tchéké (10°36.45'N, 15°22.59'E), Marao (10°36.32'N, 15°27.71'E), Madalam (10°30.95'N, 14°93.04'E) and Sadamakou (10°50.97'N, 014°93.04'E) (relatively drier Sudanian climate). This area is crossed by several interconnected streams and rivers, with many temporary pools and streams.

Sahelian zone

The Sahelian zone is characterised by a long dry season (at least eight months) with seasonal thermic differences sometimes reaching 45°C. Precipitation is scarce, the annual average ranging from 350 mm to 700 mm. In this zone, snails were collected in three localities around the city of Kousséri: Harazaye (Mayo Harazaye, 12°08.92'N, 14°99.52'E), Wally (temporary pool, 12°09.97'N, 15°03.44'E) and Kousséri Eglise Presbytérienne Camerounaise (Kousséri-EPC: temporary pool, 12°09.64'N, 015°03.40'E).

Freshwater snail survey

Snails were collected from June 2017 to November 2020 using a standard scoop net, with a mesh size of 300 µm, supported by a wooden frame. Fine forceps were used to remove sampled snails from the net. These were transferred to plastic bowls containing a

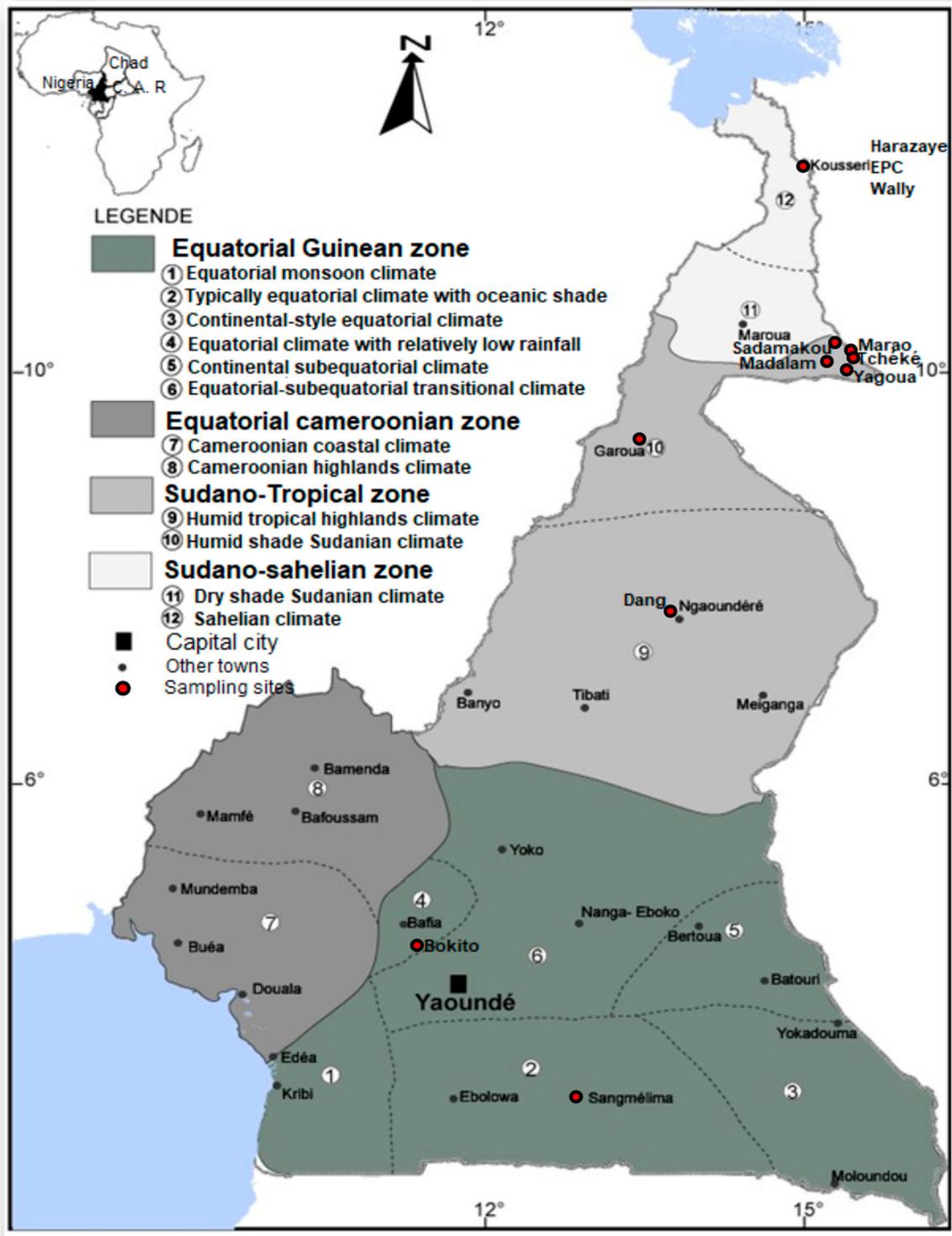


Figure 1. Climate zones and sampling sites.

little water and vegetation fragments collected from the site. Only snails belonging to the *Bulinus forskalii* species group (*Bulinus senegalensis* O. F. Müller, 1781 and *Bulinus forskalii*) were selected, and the other species groups were systematically returned to the water body. *Bulinus forskalii* was differentiated conchologically from *Bulinus senegalensis* in mixed

populations by forms exhibiting a strong carination and shoulder angle characteristic of shells from such areas (Greer et al. 1990; Jones et al. 2001). Snails intended for conchological studies were stored in a 70% alcohol solution and conserved in an airtight flask then transported to the Malacology Research Laboratory of the University of Yaounde I.

Conchology

Shells were thoroughly cleaned with a stiff paintbrush and distilled water. Later, each shell was dried and observed under a stereoscopic microscope (WILD M5A with drawing attachment) to determine its shape, colour and ornamentation. Finally, a drawing of each shell was made using the drawing chamber ($\times 12$ objective) from which the following measurements were performed (Figure 2): height of the shell (H), height from the top of the shell to the top of the aperture (HW), height of the aperture (HA), width or maximal diameter (W), width of the aperture (WA) and number of whorls of the shell (NW) (Brown 1991; Brown et al. 1991). Data obtained were analysed using the software PAST (7.0) for inferential statistics. A difference was considered statistically significant with respect to the 0.05 probability value.

Results

A total of 955 shell drawings, including 85 from the equatorial zone, 84 from the subequatorial zone, 83 from the tropical zone, 461 from the Sudanian zone and 242 from the Sahelian zone, were made in the course of this study; 74–85 shell drawings were made in each sampled *Bulinus forskalii* population. Results

presented in this paper include shell morphology and morphometry.

Shell morphology

The shell morphology of *B. forskalii* from the five surveyed climatic zones of Cameroon varied greatly from one population to another (Figure 3). Small and pyriform shells were recorded in Sudano–Sahelian populations while larger and turreted shells were observed in equatorial and sub-equatorial populations. Growth seemed distinctly allometric, with spire height proportionally greater in large shells which were comparatively slender.

Whorl shapes varied greatly from one population to another, with evenly curved shells more frequent in equatorial and sub-equatorial populations, and shouldered shells mostly represented by tropical and Sahelian shells, except for snails from the Kousséri EPC population where evenly curved shells were more numerous (Figure 4). Shouldering was most common in carinate shells.

Aperture, peristome and umbilicus

The aperture, shorter than the spire in fully grown shells, is sinistral. The columella is twisted and the columellar margin of the peristome is straight and slightly

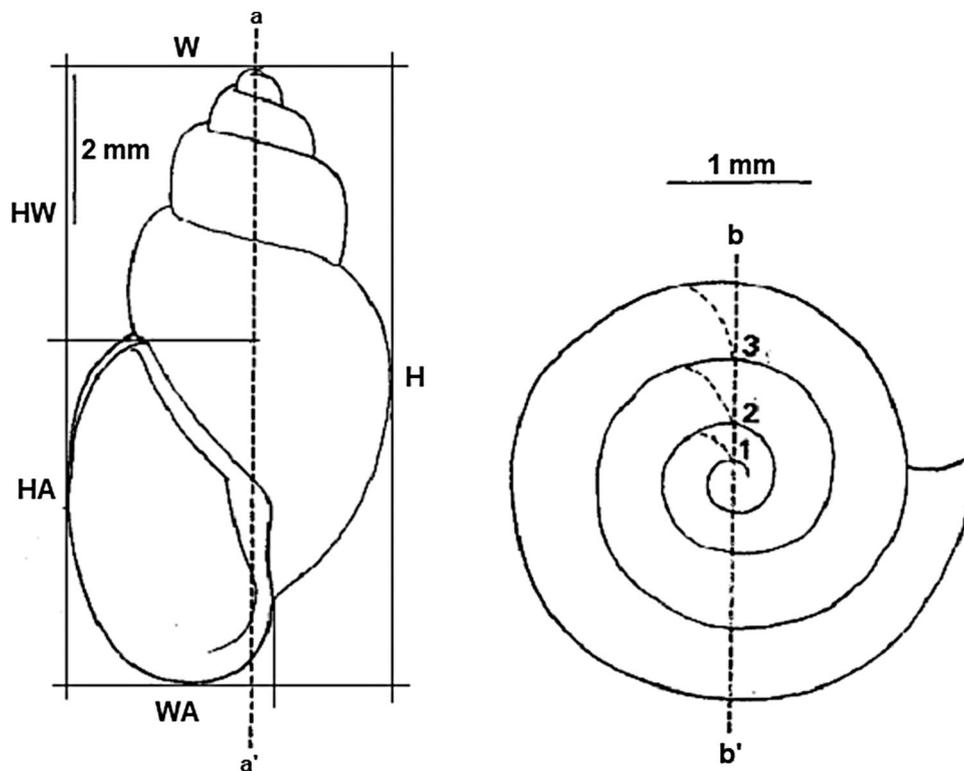


Figure 2. Drawings showing methods of measuring shell parameters of *Bulinus forskalii*. Measurements after Brown (1991): shell height (H), width (W), height from the top of the shell to the top of the aperture (HW), height of the aperture (HA), width of the aperture (WA) and number of whorls (NW). **A**, Shell arranged with its longest axis as near horizontal as is compatible with showing the apex and with the outer lip just obscuring the pre-labral surface; H is the greatest dimension along the axis (aa') passing through the apex and the middle of the reflected columellar margin; W is the greatest dimension at 90 degrees to axis (aa'). **B**, Shell viewed from directly above, showing axis (bb') along which the number of whorls was counted; broken lines indicate positions of lips at the 1-, 2- and 3-whorled stages; this example has a total of 3.75 whorls.

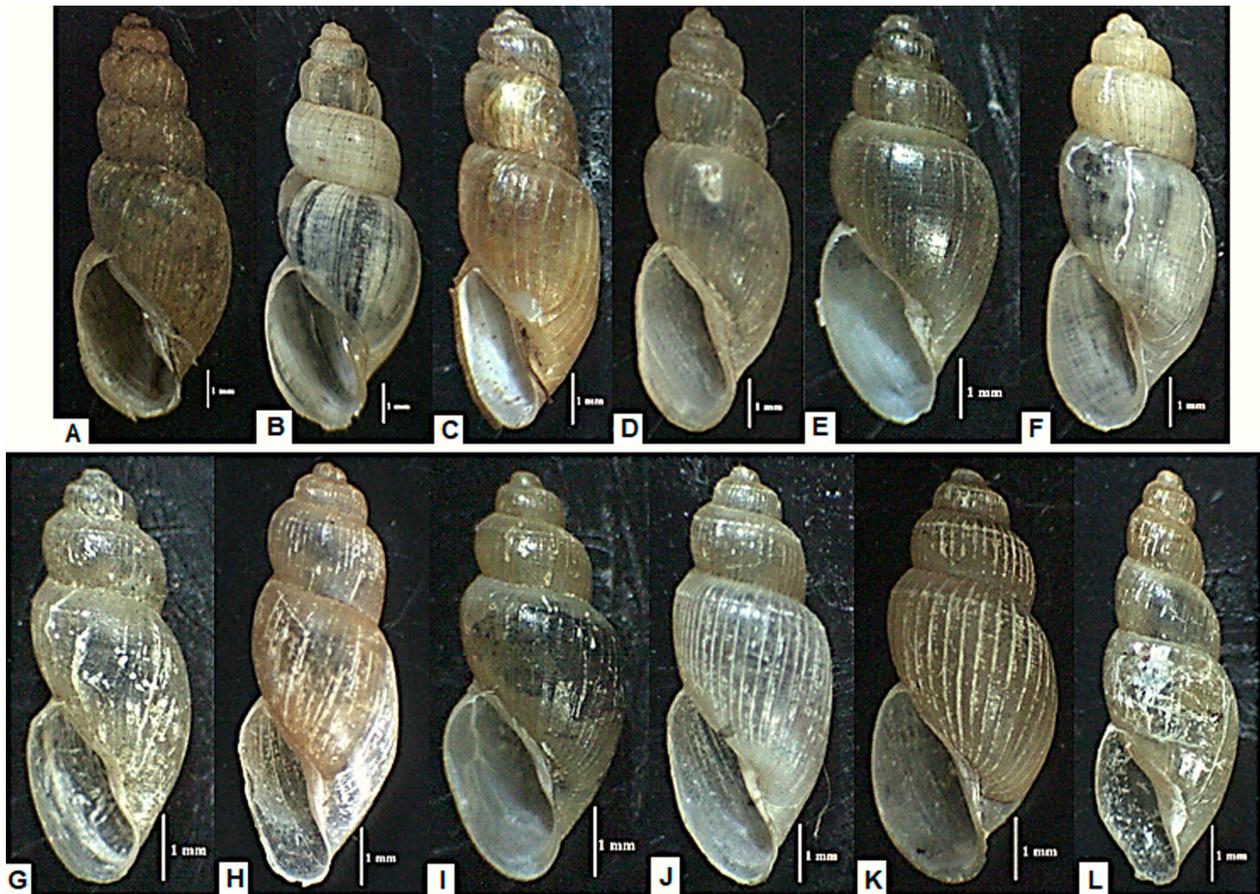


Figure 3. Shell shapes and colours of *Bulinus forskalii* from Cameroon. **A**, Sangmélîma; **B**, Bokito; **C**, Dang; **D**, Garoua; **E**, Yagoua; **F**, Tchéké; **G**, Marao; **H**, Madalam; **I**, Sadamakou; **J**, Kousséri Wally; **K**, Kousséri Harazaye; **L**, Kousséri EPC. The scale bar represents 1 mm.

reflected. All shells presented an umbilicus, which was moderately large in some specimens.

Shell colouration and ornamentation

Shell colouration varied from dark brown in forest populations to whitish in Sahelian populations, light-coloured shells being diaphanous and permitting observation of the animal inside while alive. The shell is ornamented by longitudinal ridges of increasing strength appearing from the second to the last whorl. The main and prominent ridges were separated by moderate or light ribs which all tend to converge towards the umbilicus. On the early and late teleoconch, the arrangement of these ridges is slightly disrupted by weak transverse ridges. Fine spiral sculpture is present on most shells and is clearly visible at objective $\times 6$, sometimes strongly enough to form a reticulate pattern of transverse growth ridges and ribs. This micro-sculpture is more prominent on shells from tropical and Sahelian regions.

Shell carination and shouldering

In most shells of the present study, the crest of the shoulder is accentuated by thickenings in the ribs and, in some shells, by connections between the ribs forming a more or less continuous carina (Figure 5). Some carination was observed on 90.26% of the total

of 955 shells examined. The frequency of carination varied from 27.06% in Sangmélîma in the equatorial climate to 100% in tropical and Sahelian populations (Table 1). Some shells presented a partial carination, with high frequencies in equatorial populations (78.26% in Sangmélîma) and comparatively lower frequencies in tropical populations (21.68% in Dang, 18.67% in Garoua and 13.93% in Sadamakou), except for snails from Kousséri EPC, a Sahelian population, in which 38.82% of the 85 examined shells were partially carinate. Shouldering was commonest and strongest in tropical and Sahelian populations (Table 1). Shouldering angle varied greatly from one shell to another even within the same population, shells from the tropical and Sahelian areas having a clearer angular shoulder than equatorial populations. The protoconch was neither ribbed nor carinate.

Shell morphometry

Intra- and inter-population variation

Shell morphology and morphometry varied greatly within the same population (Table 2); the sample from Marao (Sudanian zone) had the lowest values for all the parameters, whereas the highest values were found in the sample from Sangmélîma

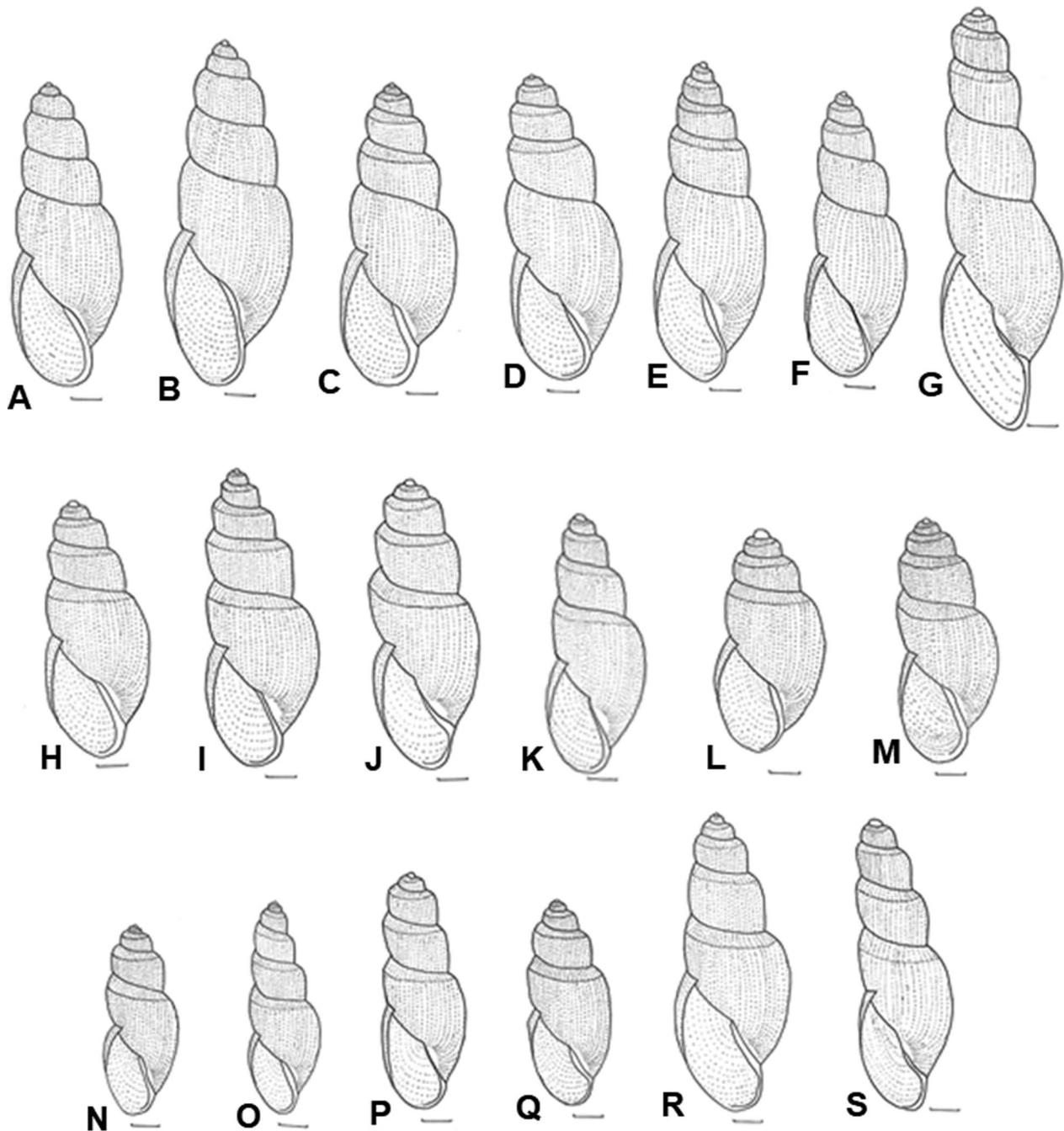


Figure 4. Shell sculptures of *Bulinus forskalii* from Cameroon. Shells without carination: **A**, Sangmélima; **B**, Bokito. Shells partially carinate: **C**, Sangmélima; **D**, Bokito; **E**, Dang; **F**, Garoua; **G**, Kousséri EPC. Shell carinate on all whorls: **H**, Sangmélima; **I**, Bokito; **J**, Dang; **K**, Garoua; **L**, Yagoua; **M**, Tchéké; **N**, Marao; **O**, Madalam; **P**, Sadamakou; **Q**, Kousséri Wally; **R**, Kousséri Harazaye; and **S**, Kousséri EPC. The scale bar represents 1 mm.

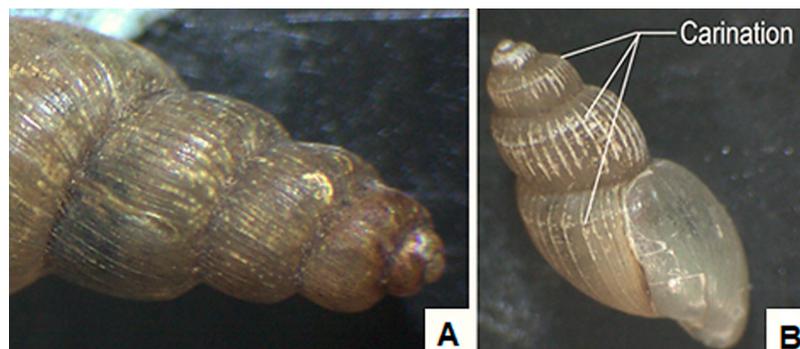


Figure 5. Shells of *Bulinus forskalii* from Cameroon. **A**, Without carination; **B**, Carinate.

Table 1. Proportion of shell carination.

Climatic zone	Sites	N	Not carinate (%)	Evenly curved (%)	Carinate on at least one whorl (%)	Shouldered (%)	Carinate on all whorls (%)	Partially carinate (%)
Equatorial	Sangmélina	85	62 (72.94)	65 (76.47)	23 (27.06)	20 (23.53)	5/23 (21.74)	18/23 (78.26)
Subequatorial	Bokito	84	31 (36.90)	50 (59.52)	53 (63.10)	34 (40.48)	18/53 (33.96)	35/53 (66.04)
Humid tropical	Dang	83	0 (0.0)	5 (6.02)	83 (100)	78 (93.98)	65 (78.31)	18 (21.68)
Sudanian	Garoua	75	0 (0.0)	2 (2.67)	75 (100)	73 (97.33)	61 (81.33)	14 (18.67)
	Yagoua	76	0 (0.0)	0 (0.0)	76 (100)	76 (100)	76 (100)	0 (0.0)
	Tchéké	74	0 (0.0)	0 (0.0)	74 (100)	74 (100)	74 (100)	0 (0.0)
	Marao	77	0 (0.0)	0 (0.0)	77 (100)	77 (100)	77 (100)	0 (0.0)
	Madalam	80	0 (0.0)	0 (0.0)	80 (100)	80 (100)	80 (100)	0 (0.0)
	Sadamakou	79	0 (0.0)	0 (0.0)	79 (100)	79 (100)	68 (86.07)	11 (13.93)
Sahelian	Kousséri Wally	78	0 (0.0)	0 (0.0)	78 (100)	78 (100)	78 (100)	0 (0.0)
	Kousséri Harazaye	79	0 (0.0)	0 (0.0)	79 (100)	79 (100)	79 (100)	0 (0.0)
	Kousséri EPC	85	0 (0.0)	29 (34.12)	85 (100)	56 (65.88)	52 (61.17)	33 (38.82)
	TOTAL	955	93 (9.74)	151 (15.81)	862 (90.26)	804 (84.19)	733 (85.03)	129 (14.97)

(equatorial zone). For the evaluation of interpopulation variation, sites were classified from south to north. From Sangmélina to Marao, H decreases from a

maximum of 14.15 mm to 6.08 mm. An increase of H is observed within the Sudano–Sahelian region, from 6.08 mm in Marao to 14.58 mm in Kousséri EPC

Table 2. Shell measurements of *Bulinus forskalii* populations from Cameroon.

Climatic zones	Collection sites		H (mm)	HS (mm)	HA (mm)	W (mm)	WA (mm)	NW
Equatorial	Sangmélina	Minimum	7.33	4.00	3.33	3.25	2.08	4.25
		Maximum	14.15	8.92	5.94	5.00	3.70	6.90
	N = 85	Mean	10.36	6.01	4.35	3.98	2.59	5.35
		SD	1.33	0.92	0.49	0.35	0.25	0.62
Subequatorial	Bokito	Minimum	6.67	3.50	3.00	2.92	1.83	4.06
		Maximum	11.50	7.25	4.92	4.50	3.08	5.76
	N = 84	Mean	8.74	4.99	3.79	3.52	2.28	4.79
		SD	1.20	0.82	0.45	0.30	0.20	0.40
Humid tropical	Dang	Minimum	3.08	1.33	1.50	1.75	1.25	3.04
		Maximum	11.58	6.67	4.91	4.00	2.42	6.07
	N = 83	Mean	5.43	2.77	2.66	2.58	1.68	3.88
		SD	1.84	1.17	0.71	0.47	0.30	0.58
Sudanian	Garoua	Minimum	3.98	1.99	1.58	2.08	1.25	3.44
		Maximum	10.66	5.92	5.33	4.55	3.00	5.50
	N = 75	Mean	6.06	3.14	2.91	2.71	1.76	4.31
		SD	1.26	0.74	0.58	0.37	0.28	0.45
	Yagoua	Minimum	4.42	2.00	2.33	2.25	1.50	2.97
		Maximum	9.42	5.58	3.84	3.84	2.33	4.90
	N = 76	Mean	6.13	3.13	2.99	2.89	1.88	4.04
		SD	0.89	0.59	0.36	0.31	0.18	0.32
	Tchéké	Minimum	3.67	1.67	1.84	1.83	1.25	3.32
		Maximum	9.42	5.83	4.50	3.33	2.08	5.40
	N = 74	Mean	5.54	2.86	2.68	2.52	1.67	4.00
		SD	1.35	0.90	0.52	0.32	0.21	0.45
	Marao	Minimum	3.08	1.33	1.67	1.75	1.08	2.93
		Maximum	6.08	3.17	3.16	3.25	1.83	4.73
	N = 77	Mean	4.27	1.97	2.29	2.20	1.42	3.57
		SD	0.65	0.41	0.30	0.22	0.14	0.35
	Madalam	Minimum	3.17	1.25	1.33	1.75	1.25	2.85
		Maximum	9.42	5.58	3.84	3.58	2.42	5.27
	N = 80	Mean	5.34	2.84	2.50	2.43	1.64	3.89
		SD	1.63	1.22	0.46	0.36	0.23	0.66
	Sadamakou	Minimum	5.08	2.42	2.33	2.25	1.50	3.45
		Maximum	9.17	5.92	3.58	3.08	2.00	5.16
	N = 79	Mean	7.31	4.19	3.12	2.61	1.72	4.51
		SD	1.03	0.77	0.32	0.19	0.14	0.40
Sahelian	Kousséri Wally	Minimum	2.75	1.25	1.42	1.67	1.00	2.9
		Maximum	8.66	4.83	4.25	3.58	3.25	4.97
	N = 78	Mean	5.70	2.92	2.77	2.69	1.82	3.92
		SD	1.73	1.01	0.75	0.59	0.49	0.49
	Kousséri Harazaye	Minimum	2.67	1.17	1.50	1.67	1.08	3.18
		Maximum	11.00	6.33	4.92	4.25	3.25	5.24
	N = 79	Mean	6.72	3.67	3.05	2.86	1.94	4.3
		SD	1.86	1.26	0.67	0.5	0.43	0.48
	Kousséri EPC	Minimum	4.17	1.92	2.25	2.25	1.58	3.64
		Maximum	14.58	9.42	5.17	4.00	2.67	5.72
	N = 85	Mean	8.68	4.85	3.83	3.24	2.18	4.74
		SD	2.03	1.45	0.62	0.38	0.28	0.50

The columns show: H, height of the shell; HW, height from the top of the shell to the top of the aperture; HA, height of the aperture; W, width or maximal diameter; WA, width of the aperture; and NW, number of whorls of the shell. SD = standard deviation.

(Figure 6). HW, HA, W, WA and NW varied in the same pattern as the height of the shell.

Pearson's linear correlation (r) was computed between H and other shell parameters; very high and positive correlation values were obtained between H and HW, HA, W, WA and NW in all populations (Table 3).

After performing analysis of variance (ANOVA) and ϵ post hoc tests, many similarities were observed between populations from Bokito to Kousséri (Table 4) although some populations were found to differ from others for each parameter: for H (Kousséri Harazaye, Marao, Sadamakou, Sangmélina), for HW (Kousséri Harazaye, Marao, Sadamakou and Sangmélina), for HA (Marao, Sadamakou, Sangmélina), for W (Bokito, Kousséri EPC, Marao and Sangmélina), for WA (Bokito, Kousséri EPC, Marao and Sangmélina) and for NW (Marao and Sangmélina). Therefore,

Marao and Sangmélina populations did not show similarity to other populations for any parameter; however, comparisons based upon allometric ratios (Table 5) did not show any isolated population. Excluding samples from Dang, Sadamakou, Kousséri EPC and Kousséri Harazaye, the average shell height decreases gradually from Sangmélina to Kousséri Wally, suggesting a morphocline (Figure 6): Sangmélina (10.36 mm), Bokito (8.74 mm), Garoua (6.06 mm), Yagoua (6.13 mm), Tchéké (5.54 mm), Kousséri Wally (5.70 mm), Madalam (5.34 mm).

Discussion

The diversity of climates and natural habitats in Cameroon favours a high species diversity, some species being restricted to particular areas and others being spread throughout the country. *Bulinus forskalii* is

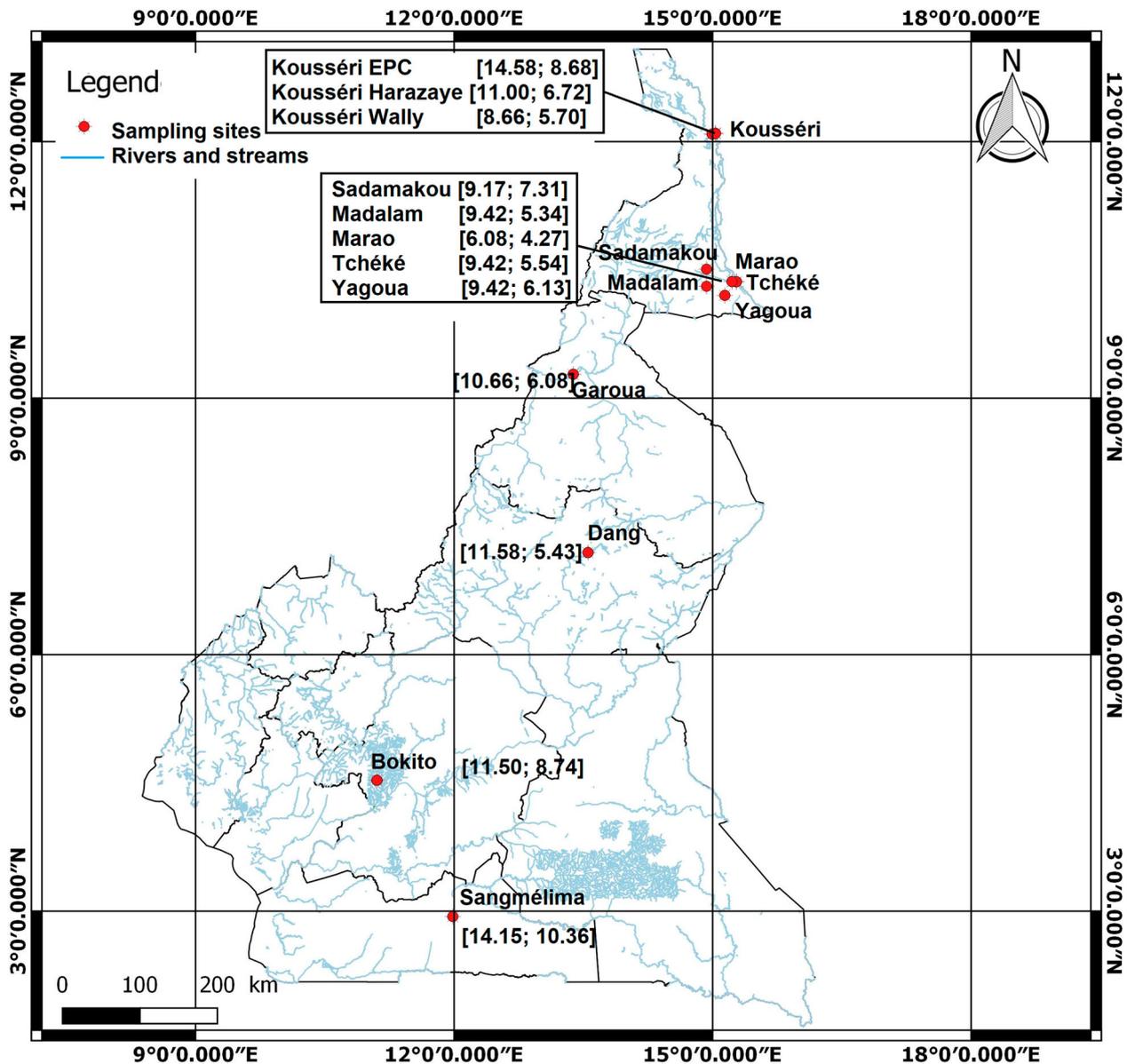


Figure 6. Variation of shell height (H) of *Bulinus forskalii* from Cameroon. At each locality, the heights are shown as [maximum; mean].

Table 3. Correlations between the height of the shell (H) and other shell parameters.

Climatic zone	Collection site	Correlations				
		H and HW	H and HA	H and W	H and WA	H and NW
Equatorial	Sangmélima	+0.97	+0.89	+0.83	+0.76	+0.86
Subequatorial	Bokito	+0.94	+0.84	+0.81	+0.72	+0.66
Humid tropical	Dang	+0.99	+0.96	+0.95	+0.91	+0.91
Sudanian	Garoua	+0.97	+0.95	+0.89	+0.85	+0.77
	Yagoua	+0.96	+0.89	+0.89	+0.82	+0.81
	Tchéké	+0.97	+0.91	+0.87	+0.74	+0.92
	Marao	+0.94	+0.89	+0.79	+0.68	+0.79
	Madalam	+0.99	+0.92	+0.91	+0.83	+0.92
	Sadamakou	+0.98	+0.86	+0.86	+0.82	+0.81
Sahelian	Kousséri Harazaye	+0.99	+0.97	+0.94	+0.93	+0.91
	Kousséri Wally	+0.98	+0.93	+0.91	+0.84	+0.89
	Kousséri EPC	+0.99	+0.96	+0.88	+0.86	+0.86

The parameters are: HW, height from the top of the shell to the top of the aperture; HA, height of the aperture; W, width or maximal diameter; WA, width of the aperture; and NW, number of whorls of the shell.

one species whose geographical distribution covers the whole country, from the permanent flowing streams and lakes of the equatorial rainforest to the temporary pools of the Sahelian area, favouring the occurrence of a wide diversity of shapes, colours and even ornamentation of shells within and between populations.

The colour of *Bulinus forskalii* shells from Cameroon varied greatly from one population to another, equatorial shells being darker and Sahelian ones being light in colour or diaphanous. This colour variation seems to be related to the nature of the substrate as shells from muddy sites are dark brown and those of sandy sites are whitish and diaphanous. Indeed, soil elements can encrust the shell and influence its colour. Hugues and Mather (1986) suggested that shell colour frequencies could even be determined by predation, snails adapting by imitating the colour of the substrate.

Table 4. Similarities of shell measurements between populations of *Bulinus forskalii* by ϵ post hoc tests.

Population	H	HW	HA	W	WA	NW	Total
Bokito/Kousséri-EPC	0.91	0.77	0.48				3
Dang/Kousséri Wally	0.96	0.87	0.97	1.29		0.47	5
Dang/Madalam	0.33	0.37	1.72			0.10	4
Dang/Tchéké	0.40		0.20	0.94	0.30	1.46	5
Dang/Garoua				1.94	1.74		2
Dang/Sadamakou				0.54	1.08		2
Garoua/Kousséri Wally	1.49					0.13	2
Garoua/Madalam		1.86					1
Garoua/Yagoua	0.40	0.09	1.01				3
Kousséri Harazaye/Yagoua		0.70		0.45	1.15		3
Kousséri Wally/Madalam	1.52	0.45					2
Kousséri Wally/Tchéké	0.47	0.39	0.87			1.05	4
Kousséri Wally/Yagoua	1.95	1.57			1.02		3
Madalam/Tchéké		0.12		1.64	0.86	1.21	4
Madalam/Yagoua		1.91			1.15	1.83	3
Sadamakou/Tchéké					1.72		1
Tchéké/Yagoua						0.63	1
Total	9	11	6	6	8	8	48

The columns show: H, height of the shell; HW, height from the top of the shell to the top of the aperture; HA, height of the aperture; W, width or maximal diameter; WA, width of the aperture; and NW, number of whorls of the shell.

Shouldering seems linked to carination, as it mostly occurs on carinate shells. On shells lacking carination, the shoulder when present is discrete compared to carinate shells where it is easily identifiable; this implies that carination might be considered the outermost manifestation of the shoulder angle. This character is used to differentiate *Bulinus forskalii* from *Bulinus senegalensis* in areas where they occur together (Brown 1994). The high carination frequencies observed in tropical and Sahelian populations seem to decline progressively towards equatorial populations in a clinal pattern, indicating that the carina could be more than a simple ornamentation on *Bulinus forskalii* shells.

Table 5. Synthesis of comparisons made by ϵ post hoc tests on allometric ratios of *Bulinus forskalii* shells.

Populations	Similarities with other populations	Particularities
Sangmélima	H/HW, H/HA, H/W, W/WA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/W	HW/HA, NW/H
Bokito	H/HW, H/HA, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/H, NW/W	H/W
Dang	H/HW, H/HA, H/W, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/H, NW/W	None
Garoua	H/HW, H/HA, H/W, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/H, NW/W	None
Yagoua	H/HW, H/HA, H/W, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/H, NW/W	None
Tchéké	H/HW, H/HA, H/W, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/H, NW/W	None
Marao	H/HW, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/W	H/HA, H/W, NW/H
Madalam	H/HW, H/HA, H/W, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/H, NW/W	None
Sadamakou	H/HW, H/HA, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/W	H/W, HA/WA, NW/H, NW/W
Kousséri Harazaye	H/HA, H/W, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/H, NW/W	H/HW
Kousséri Wally	H/HW, H/HA, H/W, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/W, NW/H, NW/W	HA/WA
Kousséri EPC	H/HA, H/W, W/WA, HW/HA, H/WA, HA/WA, HA/W, NW/H, NW/W	H/HW

The abbreviations are: H, height of the shell; HW, height from the top of the shell to the top of the aperture; HA, height of the aperture; W, width or maximal diameter; WA, width of the aperture; and NW, number of whorls of the shell.

Shells from the population of Kousséri EPC show similar characteristics, both morphological and morphometric, with equatorial populations. This could be due to the fact that this sampling site is located at the confluence of the Logone River and the Chari River, two permanent rivers with sources in the Central African Republic which might have favoured migration of freshwater snails of forest or equatorial type and established a new population in this area; Mimpfoundi and Sloomweg (1991) found an equatorial slow-migrating allele of the GPI locus in a sample of *Bulinus forskalii* from Lagdo (09°02.61'N, 013°43.59'E) in the Sudanian climate as a result of such a migration from equatorial populations. This assertion needs to be confirmed by a wider study including modern tools of population genetics.

Except for samples from Kousséri-EPC, Madalam, Marao and Dang, the samples show a gradual decrease of shell height from Sangmélíma to Kousséri (Figure 6), suggesting an evolution related to climate stratification. Measurements obtained on HW, HA, W, WA and NW are strongly correlated to H ($r > +0.66$; $p < 0.0001$); therefore, shell height (H) constitutes the dominant character permitting the differentiation of populations, all the other parameters being secondary to H. Hence, based on the evolution of H, we can exclude tautologies to define a morphocline.

This shell size reduction might be an adaptation to the scarcity of water and food resources as snails evolve from equatorial climate to Sahelian areas. Equatorial and subequatorial zones and their related climates constitute stable units in which freshwater snails can thrive and grow continuously, compared to those of the northern Sahelian part of the country and its related climate in which scarcity of water and food resources sometimes impose aestivation on snail populations, which may undergo population bottlenecks. Previous studies on isoenzyme electrophoresis showed a rather low genetic diversity within the *Bulinus forskalii* species complex, even though some alleles showed geographical distribution patterns related to habitats and geographical regions (Mimpfoundi and Greer 1990). The slight increase observed from Marao to Kousséri might be linked to the proximity of the sampling sites to the Logone River that assures a satisfactory and continuous water supply to neighbouring localities, irrespective of the season. The low values observed in the Dang sample might be explained by the low mineralisation of the lake as observed by Green et al. (1974) on *Bulinus camerunensis* from Lake Debundscha.

Although samples from Marao and Sangmélíma did not show any similarity to any other population in terms of shell parameter measurements, allometric ratio comparisons revealed a few particularities between samples (Table 5), but neither was completely isolated, confirming their affiliation to *Bulinus forskalii*.

Conclusion

This study was undertaken to assess morphological and morphometric shell variations among populations of *Bulinus forskalii* in Cameroon from the thorny steppes of the Sahelian climate in Kousséri to the evergreen forest of the equatorial zone in Sangmélíma. Samples were collected in different ecological habitats, from temporary pools to permanent lakes and streams, confirming the ubiquitous character of this species. The morphology of *Bulinus forskalii* shells varied from pyriform with a carina and shouldering, mostly observed in Sudano-Sahelian populations, to turreted and lacking carina and shouldering in equatorial populations. The variation in shell colouration from dark brown in the southern forest zone (equatorial zone) to whitish and diaphanous in the northern steppes (Sahelian zone) seemed to be related to sun exposure and the nature of the site substrate. All shell measurements were similar to the descriptions of Brown (1980, 1994), with shell height (H) having highly positive correlations to all the other parameters and varying in a clinal pattern from equatorial to Sahelian climates. Further research is needed to assess the genetic diversity of *Bulinus forskalii* and the role played by local ecological and physicochemical water parameters in the distribution and development of populations of this species across the country.

Acknowledgements

The authors are grateful to Arouna Mefire, Jean Baptiste Maliki, Elise Bahane Likmo, Geannegabka Kakiang Gbabe, Georgette Fekwa Woinbegue and Julienne Midjipang for assistance in the field. Additionally, we thank Bienvenu Feudjio Dongmo for helping in map production and the anonymous reviewer for the constructive comments made on the latest versions of this manuscript.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

References

- Brown, D.S. (1980) *Freshwater Snails of Africa and their Medical Importance*. 1st ed. Taylor & Francis Ltd., London.
- Brown, D.S. (1991) Freshwater snails of São Tomé, with special reference to *Bulinus forskalii* (Ehrenberg), host of *Schistosoma intercalatum*. *Hydrobiologia* 209, 141–153.
- Brown, D.S. (1994) *Freshwater Snails of Africa and their Medical Importance*. Revised 2nd ed. Taylor & Francis Ltd., London.
- Brown, D.S. (1996). Systematic malacology: the foundation of snail-schistosome studies. In: Madsen, H., Kristensen, T.K. & Ndlovu, P. (Eds) *Proceedings of the Danish Bilharziasis Laboratory Workshop, Zimbabwe. A Status of Research of Medical Malacology in Relation to Schistosomiasis in Africa*. Danish Bilharziasis Laboratory, Charlottenlund, pp. 27–46.

- Brown, D.S., Shaw, K.M. & Rollinson, D. (1991) Freshwater snails of the *Bulinus truncatus/tropicus* complex (Basommatophora: Planorbidae) in Kenya: diploid populations. *Journal of Molluscan Studies* 57, 143–166.
- Green, J., Corbet, S.A. & Betney, E. (1974) Ecological studies on crater lakes in West Cameroon. Debundsha Lake. *Journal of Zoology* 173, 199–223.
- Greer, J.G., Mimpfoundi, R., Malek, E.A., Joky, A., Ngonseu, E. & Ratard, R.C. (1990) Human schistosomiasis in Cameroon. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 42, 573–580.
- Hugues, J.M. & Mather, P.B. (1986) Evidence for predation as a factor in determining shell color frequencies in a mangrove snail *Littorina* sp. (Prosobranchia: Littorinidae). (Prosobranchia: Littorinidae). *Evolution* 40 (1), 68–70.
- Jelnes, J.E. (1986) Experimental taxonomy of *Bulinus* (Gastropoda: Planorbidae): the West and North African species reconsidered, based upon an electrophoretic study of several enzymes per individual. *Zoological Journal of the Linnean Society* 87, 1–26.
- Jones, C.S., Noble, L.R., Lockyer, A.E., Brown, D.S. & Rollinson, D. (1997) Species-specific primers discriminate schistosome intermediate hosts: unambiguous PCR diagnosis of *Bulinus forskalii* group taxa (Gastropoda: Planorbidae). *Molecular Ecology* 6, 843–849.
- Jones, C.S., Noble, L.R., Ouma, J., Kariuki, H.C., Mimpfoundi, R., Brown, D.S. & Rollinson, D. (1999) Molecular identification of *Schistosoma* intermediate hosts: case studies of *Bulinus forskalii* group species (Gastropoda: Planorbidae) from Central and East Africa. *Biological Journal of the Linnean Society* 68 (12), 215–240.
- Jones, C.S., Rollinson, D., Mimpfoundi, R., Ouma, J., Kariuki, H.C. & Noble, L.R. (2001) Molecular evolution of freshwater snail intermediate hosts within the *Bulinus forskalii* group. *Parasitology* 123, 277–292.
- Kengne-Fokam, A.C., Nana-Djeunga, H.C., Bagayan, M. & Njiokou, F. (2018) *Biomphalaria camerunensis* as a viable alternative intermediate host for *Schistosoma mansoni* in southern Cameroon. *Parasites & Vectors* 11, 181–189.
- Mandahl-Barth, G. (1958) Intermediate hosts of *Schistosoma*, African *Biomphalaria* and *Bulinus*. *Bulletin of the World Health Organization* 37, 1–132.
- Mimpfoundi, R. (1990) *Variations génétiques intra- et interpopulationnelles chez les Planorbidae tropicaux: le polymorphisme enzymatique dans les genres Biomphalaria* Preston, 1910 *et Bulinus* Müller, 1781 *au Cameroun*. Thèse de Doctorat d'Etat. Université de Yaoundé.
- Mimpfoundi, R. & Greer, G.J. (1989) Allozyme comparisons among species of the *Bulinus forskalii* group (Gastropoda: Planorbidae) in Cameroon. *Journal of Molluscan Studies* 55, 405–410.
- Mimpfoundi, R. & Greer, G.J. (1990) Allozyme comparisons and ploidy levels among species of the *Bulinus truncatus/tropicus* complex (Gastropoda: Planorbidae) in Cameroon. *Journal of Molluscan Studies* 56, 63–68.
- Mimpfoundi, R. & Sloomweg, R. (1991) Further observations on the distribution of *Bulinus senegalensis* Müller (Gastropoda: Planorbidae) in Cameroon. *Journal of Molluscan Studies* 57(4), 487–489.
- Simarro, P.P., Sima, F.O. & Mir, M. (1990) Urban epidemiology of *S. intercalatum* in the city of Bata, Equatorial Guinea. *Tropical Medicine and Parasitology* 41, 254–256.
- Tchuem Tchente, L.A., Southgate, V.R., Njiokou, F., Njine, T., Koueméni, L.E. & Jourdan, J. (1997) *The evolution of schistosomiasis at Loum, Cameroon: replacement of Schistosoma intercalatum by S. haematobium through introgressive hybridization*. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 91, 664–665.
- Wright, C.A., Southgate, V.R. & Knowles, R.J. (1972) What is *Schistosoma intercalatum* Fisher, 1934? *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* 66, 28–56.