

## Différenciation morphologique entre deux souches naturelles et une souche cultivée du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) au Sud-Kivu, RD Congo

### [ Morphological differentiation between two wild and one cultured strains of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) in South-Kivu, DR Congo ]

John NIHOREYE FAKAGE<sup>1</sup>, Pascal MASILYA MULUNGULA<sup>2-3</sup>, Pascal ISUMBISHO MWAPU<sup>4</sup>, and Freddy OKITAYELA ONAWOMA<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Département de Biologie, Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu, B.P. 854 Bukavu, RD Congo

<sup>2</sup>Unité d'Enseignement et de Recherche en Hydrobiologie Appliquée, Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu, B.P. 854 Bukavu, RD Congo

<sup>3</sup>Centre de Recherche en Hydrobiologie, B.P. 73Uvira, RD Congo

<sup>4</sup>Unité de Recherche en Gestion des Ecosystèmes Humides et Aquatiques, Institut Supérieur Pédagogique de la Gombe. B.P. 3580 Kinshasa, RD Congo

<sup>5</sup>Département de Zootechnie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université de Kinshasa. B.P. 117 Kinshasa XI, RD Congo

---

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** Morphological variation between two wild populations of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* from Lake Kivu and Ruzizi River respectively and a breeding strain (Nyakabera strain) of the same species was studied by a multivariate analysis of 21 morphometric characters and 4 meristic characters. Principal component analysis and cluster analysis of morphometric characters showed divergence between populations/strains while the same approach with meristic traits didn't show discrimination between them. These results show that based on the morphometric traits, the two populations of Lake Kivu and Ruzizi River are close to each other and stand out from the Nyakabera strain. The morphological differences thus noted could be due to environmental factors or genetic differences or both combined, in relation to the geography and the life history of these *O. niloticus* populations considered.

**KEYWORDS:** Intraspecific variation, Lake Kivu, fish farming, morphometrics, multivariate analysis.

**RESUME:** La variation morphologique entre deux populations sauvages du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* provenant respectivement du lac Kivu et de la rivière Ruzizi et une souche d'élevage (souche Nyakabera) de la même espèce a été étudiée par une analyse multivariée de 21 caractères morphométriques et 4 caractères méristiques. L'analyse en composantes principales et la classification hiérarchique des caractères morphométriques ont montré une divergence entre les populations/souches pendant que la même approche avec les caractères méristiques n'a pas permis une discrimination entre celles-ci. Ces résultats montrent qu'en se basant sur les traits morphométriques, les deux populations du lac Kivu et de la rivière Ruzizi sont proches et se démarquent de la souche Nyakabera. Les différences morphologiques ainsi constatées pourraient être dues à des facteurs environnementaux ou à des différences génétiques ou les deux combinés, en relation avec la géographie et l'histoire de vie ces populations d'*O. niloticus* considérées.

**MOTS-CLEFS:** Variation intraspécifique, Lac Kivu, pisciculture, morphométrie, analyse multivariée.

## **1 INTRODUCTION**

Le tilapia du Nil, *Oreochromis niloticus*, est l'espèce de poisson la plus utilisée en pisciculture tropicale [1]. Sur les 32 pays pratiquant la tilapiaculture en Afrique, *O. niloticus* est utilisé dans 23 pays [2]. La référence [3] signale qu'*O. niloticus* était la principale espèce de poisson cultivée en RD Congo vers les années 1960. Dans la province du Sud-Kivu, le tilapia du Nil est largement utilisé en pisciculture mais il y existe aussi à l'état sauvage dans les principaux hydrosystèmes tels que les lacs Kivu et Tanganyika et la rivière Ruzizi [4]. Ici, les souches d'élevage sont habituellement importées (donc d'origine allochtone) alors que les populations trouvées dans les trois milieux naturels proviennent selon [4] d'une espèce autochtone au lac Kivu. Ces trois populations d'*O. niloticus* sont actuellement isolées par des obstacles physiques le long de la rivière Ruzizi que sont les barrages hydroélectriques de Ruzizi I et Ruzizi II, situés respectivement dans les parties supérieure et moyenne, et les chutes de Ngomo qui séparent la Ruzizi moyenne de la Ruzizi inférieure.

Plusieurs auteurs ([5]; [6]; [7]; [8]; [9]) ont montré que des facteurs comme la séparation géographique, l'origine ancestrale et l'histoire de domestication peuvent être à la base d'une différenciation morphologique entre les populations d'une même espèce de poisson. Les variations morphologiques entre populations d'une même espèce, dont les causes peuvent être d'ordre environnemental ou génétique ([10]; Stan, non publié), se traduisent par des différences dans la croissance et les taux de maturation (reproduction, fertilité) et d'autres aspects physiologiques ([11]; [12]).

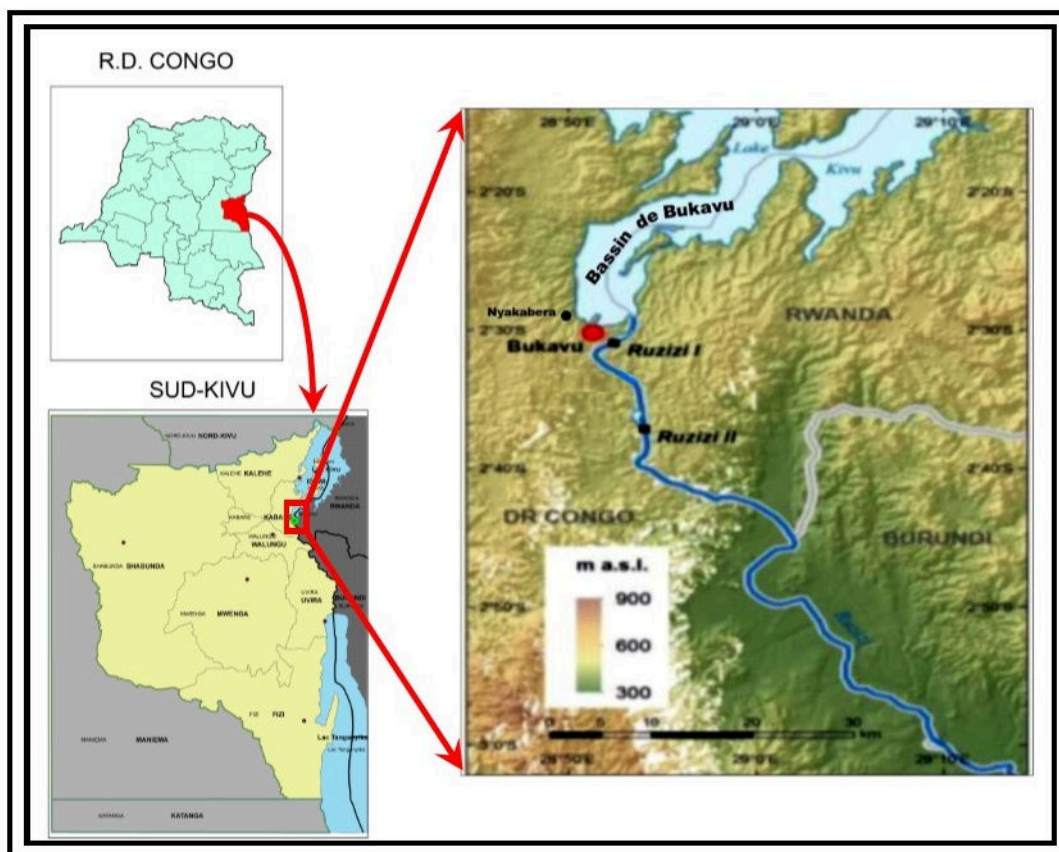
La différenciation morphologique des stocks de poissons est habituellement réalisée à travers l'analyse des caractères morphométriques (ayant trait à la forme du corps) et méristiques (structures dénombrables) ([5]). Malgré l'avènement des techniques biochimiques et de génétique moléculaire, réputées plus précises en matière d'étude des variations intra ou interspécifiques, les approches morphologiques continuent à être utilisées avec succès à cette fin, comme on peut le remarquer à travers diverses études récentes ([13]; [14]; [15]; [2]; [16]; [17]; [18]; [19]; [7]).

Plusieurs travaux de comparaisons morphologiques entre les populations sauvages et domestiques ont déjà été réalisés pour plusieurs espèces de poissons et dans divers contextes ([14]; [2]; [1]; [20]; [6]; [16]; [21]). Cependant, il y a peu de travaux réalisés sur les différences génétiques ou morphologiques entre les souches d'*O. niloticus* trouvées en milieu naturel et celles exploitées en élevage en RD Congo. La présente étude est ainsi une première qui se penche sur le niveau des variations morphologiques d'*O. niloticus* en conditions naturelles et de captivité au Sud-Kivu. Son objectif est d'analyser les différences morphologiques entre deux souches naturelles (lac Kivu et Rivière Ruzizi) et une souche introduite et largement exploitée en pisciculture dans le Sud Kivu en RD Congo (souche Nyakabera), à l'aide des techniques statistiques multivariées. Les résultats de cette étude s'inscrivent dans une vision consistant à apporter des connaissances sur la diversité et les ressources génétiques d'*O. niloticus* au Sud-Kivu et ensuite exploiter ces connaissances pour contribuer à l'amélioration de la production piscicole.

## **2 MATERIEL ET METHODES**

### **2.1 SOUCHES DE POISSONS UTILISEES ET ECHANTILLONNAGE**

La présente étude se rapporte à trois milieux situés aux alentours de la ville de Bukavu (02° 30'S et 28° 51'E) en Province du Sud-Kivu, en RD Congo : le lac Kivu (bassin de Bukavu), la rivière Ruzizi (en aval du barrage hydroélectrique Ruzizi I) et la station piscicole étatique de Nyakabera (02°28'S et 28°49'E) (Figure 1). Trois populations du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus*, dont deux naturelles (Lac Kivu et Ruzizi) et une domestique (Nyakabera), ont ainsi été utilisées pour l'étude. *O. niloticus* est autochtone au lac Kivu et la population d'*O. niloticus* en aval du barrage Ruzizi I, est originaire de ce lac ([4]). La rivière Ruzizi est un affluent du lac Kivu et le barrage Ruzizi I a été érigé en 1958 à 4 km de son exutoire (Lukelwa, non publié). Quant à la souche domestique d'*O. niloticus* utilisée dans cette étude, elle a été introduite en 2005 à Nyakabera depuis la station piscicole de l'Université Nationale du Rwanda de Rwasave à Butare. Elle est à l'origine un mélange de souches égyptienne et ivoirienne, elles-mêmes amenées à Rwasave depuis une station de pisciculture de l'Université d'Auburn (USA) entre 1984 et 1985. Depuis son arrivée à la station de Nyakabera, cette souche est disséminée dans plusieurs contrées des provinces de l'Est de la RD Congo à travers des programmes d'assistance aux paysans pisciculteurs implémentés notamment par les organisations humanitaires ([22]).



**Fig. 1.** Localisation des sites d'échantillonnage (adapté de Mazambi, non publié)

Un échantillon de 147 poissons matures dont 50 du Lac Kivu, 50 de la Rivière Ruzizi et 47 des étangs piscicoles de Nyakabera a été collecté entre janvier et juillet 2016. La taille de l'échantillon par souche (naturelle ou domestique) était basée sur la recommandation de [23], selon laquelle un minimum de 25 spécimens est nécessaire pour les analyses morphométriques. Au niveau du lac Kivu et de la rivière Ruzizi, les poissons utilisés provenaient de la pêche à la senne de plage et parfois à la nasse. A la station piscicole de Nyakabera, les spécimens utilisés ont été capturés à la senne dans deux étangs de dérivation en terre, après 6 mois de grossissement. Le sexe des poissons retenus était identifié pour veiller à un équilibre à ce sujet au sein de l'échantillon. Une fois collectés, les poissons étaient aussitôt placés dans des bocaux contenant du formol à 4%.

## 2.2 COLLECTE DES DONNEES

Un total de 37 mesures morphologiques étaient prises sur chaque spécimen de poisson, incluant 28 caractères morphométriques et 9 caractères méristiques, selon [24]. Le tableau 1 et la figure 2 en donnent les détails. Les mesures morphométriques étaient prises sur le côté gauche du poisson à l'aide d'un pied à coulisse de 0,01 mm de précision. Les poissons étaient disséqués pour le prélèvement de certains organes (arcs branchiaux, os pharyngeal) pour lesquels les comptages ou les mensurations étaient aussi nécessaires.

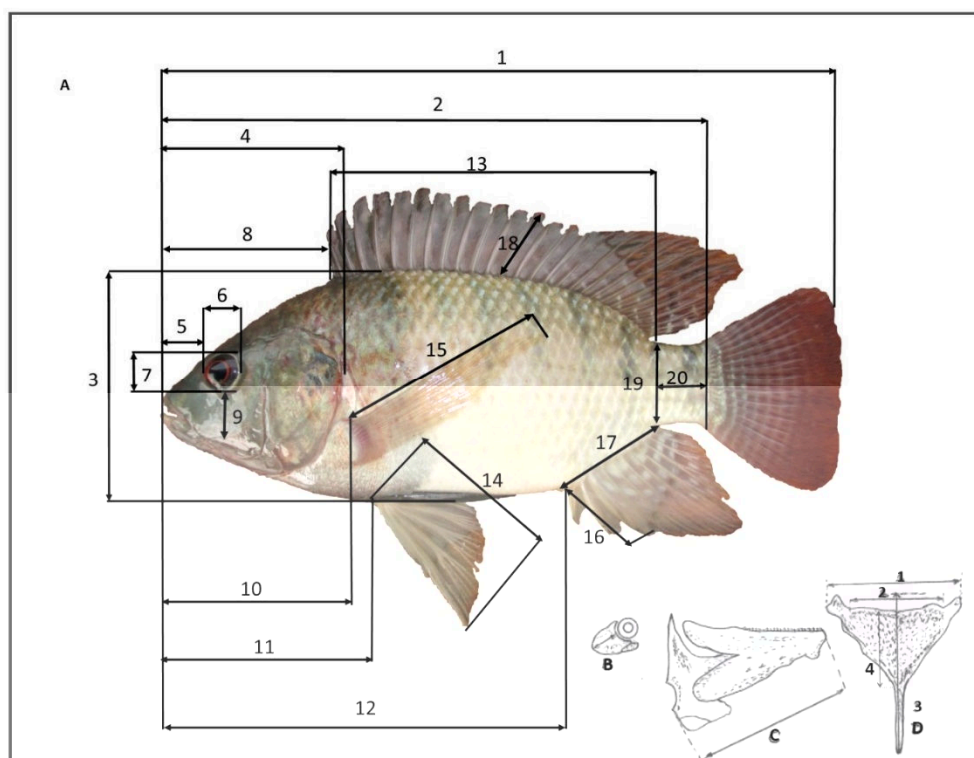


Fig. 2. Diagramme pour les mensurations morphométriques sur *O. niloticus* (les codes sont définis dans le tableau 1)

Tableau 1. Caractères morphométriques et méristiques d'*Oreochromis niloticus* utilisés dans cette étude

Code	Caractère	Acronyme	Code	Caractère	Acronyme
<b>Caractères morphométriques</b>					
A1	Longueur totale	TL	A20	Longueur du pédoncule caudal	CPL
A2	Longueur standard	SL	A Non figuré	Largeur interorbitaire	IOW
A3	Hauteur maximale du corps	BH	A Non figuré	Largeur de la tête	HW
A4	Longueur de la tête	HL	B	Longueur de l'os préorbital	POD
A5	Longueur du museau	SnL	C	Longueur de la joue inférieure	LJL
A6	Diamètre de l'œil	EyD	D1	Largeur totale de l'os pharyngien	WPhB
A7	Longueur de l'œil	EyL	D2	Largeur de la zone dentée sur l'os pharyngien	WTPhB
A8	Distance prédorsale	PD	D3	Longueur de l'os pharyngien	LPhB
A9	Hauteur de la joue	ChD	D4	Longueur de la zone dentée sur l'os pharyngien	LTPhB
A10	Distance prépectorale	Ppec	<b>Caractères méristiques</b>		
A11	Distance préventrale	Pve	Nombre d'écailles autour du pédoncule caudal		ScCP
A12	Distance préanale	Pan	Nombre de rayons épineux sur la nageoire dorsale		D1
A13	Longueur de la nageoire dorsale	DL	Nombre de rayons mous sur la nageoire dorsale		D2
A14	Longueur de la nageoire ventrale	VL	Nombre total de rayons sur la nageoire anale		A
A15	Longueur de la nageoire pectorale	PL	Nombre total de rayons sur la nageoire ventrale		V
A16	Longueur de la 3 <sup>e</sup> épine sur l'anale	As3L	Nombre de rayons sur la nageoire caudale		C
A17	Longueur de la nageoire anale	AL	Nombre de rayons branchus sur la nageoire anale		Arbr
A18	Longueur de la plus longue épine sur la dorsale	LgDsl	Nombre d'écailles sur la ligne latérale		ScLL
A19	Hauteur du pédoncule caudal	CPH	Nombre de branchiospines sur la partie inférieure du premier arc branchial		GR

## 2.3 ANALYSE DES DONNEES

En accord avec [25], l'analyse des données a été réalisée séparément pour les caractères morphométriques et méristiques, ces deux types de variables étant différentes aussi bien sur le plan statistique (les premières sont continues tandis que les dernières sont discrètes) que sur le plan biologique (les dernières sont fixées très tôt au cours du développement, pendant que les premières sont plus sensibles à l'environnement).

Pour les caractères méristiques, les analyses ont été faites avec des données brutes étant donné qu'ils sont indépendants de la taille et ne changent pas pendant la croissance ([26]). Les variables morphométriques ont été par contre préalablement transformées par rapport à la taille (%SL pour HL, BH, CPH, CPL, PD, Ppec, Pve, Pan, DL, PL, VL, AL, LgDsl et As3L; et %HL pour HW, EyL, EyD, IOW, ChD, SnL, WTPhB, WPhB, LPhB, LTPhB, POD et LJL, selon [27], comme l'hétérogénéité dans la taille entre différents échantillons peut causer une hétérogénéité dans la forme. Les statistiques descriptives de base telles que la moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation ont été calculées pour chaque population sur les données ainsi transformées.

Les données transformées ont été par la suite standardisées avec la taille par la formule allométrique suivante ([23]) :  $e = \log Y - \beta (\log X - \log X_{STL})$ , où  $e$  est la variable morphométrique ajustée à la taille,  $Y$  est la variable non modifiée,  $\beta$  la pente de régression commune de  $\log Y$  par rapport à  $\log X$  ( $X$  étant la longueur standard du poisson) et  $X_{STL}$  la longueur standard moyenne commune aux poissons de tous les échantillons. Cette formule d'ajustement a été utilisée avec succès dans plusieurs études récentes ([26] ; [14]; [28]).

L'efficacité de la méthode allométrique ainsi appliquée a été évaluée par le test de signification de la corrélation entre les variables transformées et la longueur standard. L'analyse de la variance univariée (ANOVA) a été réalisée pour chaque caractère afin d'évaluer la différence significative entre les 3 populations. Les caractères morphométriques jugés significatifs ont été utilisés pour l'analyse en composantes principales (ACP). L'analyse de la fonction discriminante (AFD) a été aussi utilisée pour vérifier la classification des membres de chaque population ([29]). Des dendrogrammes ont été construits par une classification hiérarchique suivant la méthode de Ward utilisant la distance euclidienne pour évaluer le degré de similarité entre les populations étudiées ([30]).

La longueur totale et la longueur standard du poisson ont été exclues pour les analyses comme elles avaient été utilisées comme base pour la transformation et que la longueur totale est directement liée à longueur standard ([31]). Les analyses statistiques étaient effectuées à l'aide des logiciels PAST version 3.17 et Excel 2013.

## 3 RESULTATS

### 3.1 CARACTERES MORPHOMETRIQUES

Les statistiques descriptives relatives aux caractères morphométriques, exprimés en termes de pourcentage - soit de la longueur standard, soit de la longueur de la tête - de 3 souches d'*O. niloticus* étudiées sont présentées dans le tableau 2.

Tableau 2. Statistiques descriptives pour les caractères morphométriques de 3 souches d'*Oreochromis niloticus*

Caractères	Ruzizi (n = 50)		Lac Kivu (n = 50)		Nyakabera (n = 47)		ANOVA p
	X±SD	CV (%)	X±SD	CV (%)	X±SD	CV (%)	
HW	55,5 ± 2,9	5,2	55,5 ± 1,9	3,3	55,2 ± 3,2	5,9	0,8696
EyL	21,6 ± 1,4 <sup>ab</sup>	6,6	21,2 ± 1,4 <sup>ab</sup>	6,5	19,2 ± 3,2 <sup>c</sup>	16,7	<0,001
EyD	22,4 ± 2,3 <sup>ab</sup>	10,3	22,1 ± 1,5 <sup>ab</sup>	6,9	19,2 ± 1,5 <sup>c</sup>	7,8	<0,001
IOW	46,7 ± 2,8 <sup>ab</sup>	5,9	47,3 ± 3,1 <sup>ab</sup>	6,5	41,9 ± 2,2 <sup>c</sup>	5,2	<0,001
ChD	33,5 ± 1,6	4,7	33,4 ± 3,1	9,4	32,1 ± 1,1	3,3	0,485
SnL	36,6 ± 1,6 <sup>ac</sup>	4,4	34,6 ± 1,6 <sup>b</sup>	4,1	37,2 ± 1,5 <sup>ac</sup>	4,0	<0,001
WTPhB	24,9 ± 2,3 <sup>ac</sup>	9,1	24,5 ± 1,3 <sup>ab</sup>	5,2	25,5 ± 0,9 <sup>c</sup>	3,6	0,0067
WPhB	30,1 ± 2,2	7,2	30,9 ± 1,4	4,5	30,7 ± 2,2	7,1	0,124
LPhB	32,6 ± 2,7 <sup>a</sup>	8,2	30,4 ± 1,3 <sup>b</sup>	4,4	31,3 ± 1,3 <sup>c</sup>	4,2	<0,001
LTPhB	17,8 ± 1,6 <sup>a</sup>	8,8	14,6 ± 1,8 <sup>b</sup>	8,1	16,1 ± 1,9 <sup>c</sup>	7,4	<0,001
POD	18,9 ± 1,2 <sup>a</sup>	6,4	18,2 ± 1,2 <sup>bc</sup>	8,1	17,9 ± 1,2 <sup>bc</sup>	6,5	<0,001
LJL	59,2 ± 2,9	4,9	59,4 ± 2,3	3,9	59,4 ± 2,9	4,9	0,874
HL	34,2 ± 0,8 <sup>a</sup>	2,4	33,7 ± 0,9 <sup>b</sup>	2,6	35,4 ± 1,3 <sup>c</sup>	3,6	<0,001
BH	41,3 ± 1,8 <sup>ac</sup>	4,2	41,0 ± 1,4 <sup>ab</sup>	3,9	42,0 ± 1,6 <sup>c</sup>	3,9	<0,001
CPH	16,4 ± 0,7 <sup>a</sup>	4,4	15,9 ± 0,6 <sup>bc</sup>	3,2	16,0 ± 0,8 <sup>bc</sup>	4,7	<0,001
CPL	12,9 ± 0,9 <sup>ab</sup>	6,6	12,9 ± 0,8 <sup>ab</sup>	6,0	11,6 ± 0,7 <sup>c</sup>	6,2	<0,001
PD	35,7 ± 1,8 <sup>ab</sup>	5,0	35,6 ± 1,1 <sup>ab</sup>	3,0	37,0 ± 3,5 <sup>c</sup>	9,4	0,0042
Ppec	33,2 ± 1,1 <sup>a</sup>	3,4	31,9 ± 1,2 <sup>b</sup>	3,8	34,7 ± 1,7 <sup>c</sup>	5,0	<0,001
Pve	41,1 ± 2,5 <sup>ab</sup>	6,2	40,2 ± 1,4 <sup>ab</sup>	3,5	43,2 ± 1,7 <sup>c</sup>	3,9	<0,001
Pan	73,5 ± 2,4	3,3	74,1 ± 2,0	2,6	74,5 ± 2,5	3,4	0,0947
DL	59,3 ± 1,5 <sup>ac</sup>	2,5	58,2 ± 1,2 <sup>b</sup>	2,1	59,4 ± 1,7 <sup>ac</sup>	2,9	<0,001
PL	41,5 ± 2,3 <sup>ac</sup>	5,6	40,2 ± 2,8 <sup>bc</sup>	6,9	41,1 ± 2,2 <sup>abc</sup>	5,2	0,0254
VL	29,1 ± 1,5 <sup>a</sup>	5,2	28,2 ± 1,8 <sup>b</sup>	6,3	31,9 ± 1,8 <sup>c</sup>	5,7	<0,001
AL	17,0 ± 1,1 <sup>a</sup>	6,3	16,3 ± 0,8 <sup>b</sup>	4,7	18,8 ± 0,8 <sup>c</sup>	4,7	<0,001
LgDsL	14,9 ± 1,0 <sup>a</sup>	6,8	13,6 ± 0,9 <sup>b</sup>	7,0	16,9 ± 0,9 <sup>c</sup>	5,5	<0,001
As3L	15,6 ± 1,4 <sup>a</sup>	8,8	14,4 ± 0,9 <sup>b</sup>	6,4	16,9 ± 1,4 <sup>c</sup>	8,2	<0,001

n: taille de l'échantillon ; X: moyenne; SD: écart-type; CV: coefficient de variation.

Les moyennes dans la même ligne portant des lettres différentes en exposant diffèrent significativement ( $p < 0,05$ ).

A l'intérieur de chaque souche, le coefficient de variation est inférieur à 15% pour tous les caractères, sauf pour EyL chez la souche Nyakabera. Les résultats de l'analyse de la variance effectuée indiquent une différence significative ( $p < 0,05$ ) entre les 3 souches pour 21 des 26 caractères analysés (soit 81%). Les 5 caractères qui se sont révélés non distinctifs sont la largeur de la tête (HW), la hauteur de la joue (ChD), la longueur de la joue inférieure (LJL), la largeur de l'os pharyngéal (WPhB) et la distance préanale (Pan). Le test de comparaison multiple HSD de Tukey montre que la souche Nyakabera diffère significativement ( $p < 0,05$ ) des souches Lac Kivu et Ruzizi, respectivement pour 18 caractères (soit 69%) et 16 caractères (soit 62%). Les 2 souches naturelles (Lac Kivu et Ruzizi) ne diffèrent à ce point que par 50% des caractères analysés.

L'analyse de la régression avec la longueur standard n'a montré aucune corrélation significative ( $p > 0,05$ ), après standardisation, pour tous les 26 caractères morphométriques étudiés. L'analyse en composantes principales (ACP) effectuée avec les 21 caractères trouvés significatifs montre que les deux premières composantes (CP1 et CP2) expliquent 75,2% de la variance totale dont 68,3% pour la CP1 et 7,9% pour la CP2. En considérant la valeur 0,2 comme seuil, la hauteur du corps (BH) est le caractère le plus influent sur la CP1 tandis que la CP2 est plus influencée par la longueur de l'os pharyngéal (LTPhB et LPhB), la longueur de la plus longue épine dorsale (LgDsL) et la longueur de la 3<sup>e</sup> épine anale (As3L). Les coefficients factoriels (exprimant les poids des variables sur les composantes) ainsi que la contribution à la variance totale pour les 2 premières composantes sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Coefficients factoriels et contribution à la variance totale de CP1 et CP2 pour les caractères morphométriques

	CP1	CP2
% variance	68,3	7,9
HL	0,01703	0,0553
EyL	-0,11774	0,19089
EyD	-0,15357	0,10509
IOW	-0,083383	0,059936
SnL	0,065887	0,19145
BH	<b>0,94565</b>	-0,067885
CPH	-0,029881	0,086426
CPL	-0,12721	0,074662
PD	0,012478	0,028881
Ppec	0,033247	0,14499
Pve	0,035001	0,10156
DL	-0,012044	0,042465
PL	-0,017233	0,15532
VL	0,074013	0,12007
AL	0,053953	0,14984
LgDsL	0,13673	<b>0,31978</b>
As3L	0,092802	<b>0,34079</b>
WTPhB	0,02578	0,17975
LPhB	-0,0097745	<b>0,28371</b>
LTPhB	0,012612	<b>0,65768</b>
POD	-0,0093338	0,18126

En gras : caractères à haute charge ( $|>0,2|$ )

La représentation graphique des scores individuels de la CP1 contre la CP2 pour les caractères morphométriques (Figure 3a) montre une séparation entre les souches naturelles (Lac Kivu et Ruzizi) et la souche domestique (Nyakabera). Les individus des souches Lac Kivu et Ruzizi chevauchent partiellement et sont répartis le long de l'axe de la CP2, ceux du Lac Kivu étant en majeure partie sur le secteur positif et ceux de la Ruzizi sur le secteur négatif. Les individus de Nyakabera sont également répartis le long de l'axe de la CP2, mais à l'opposé de ceux des deux autres souches sur la CP1. Cette discrimination est fortement en lien avec la hauteur du corps (BH) (pour les 2 blocs) et la longueur totale de l'os pharyngéal (LTPhB) (pour Ruzizi vs Lac Kivu).

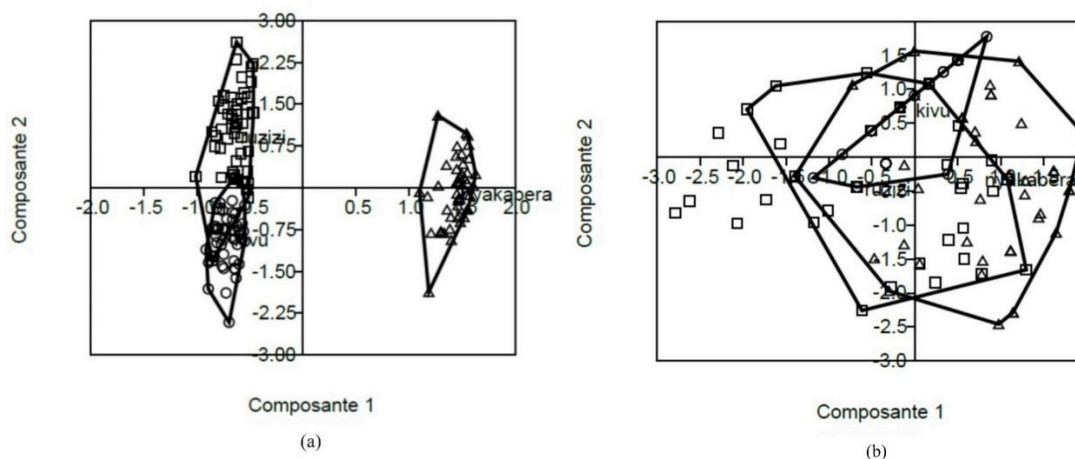
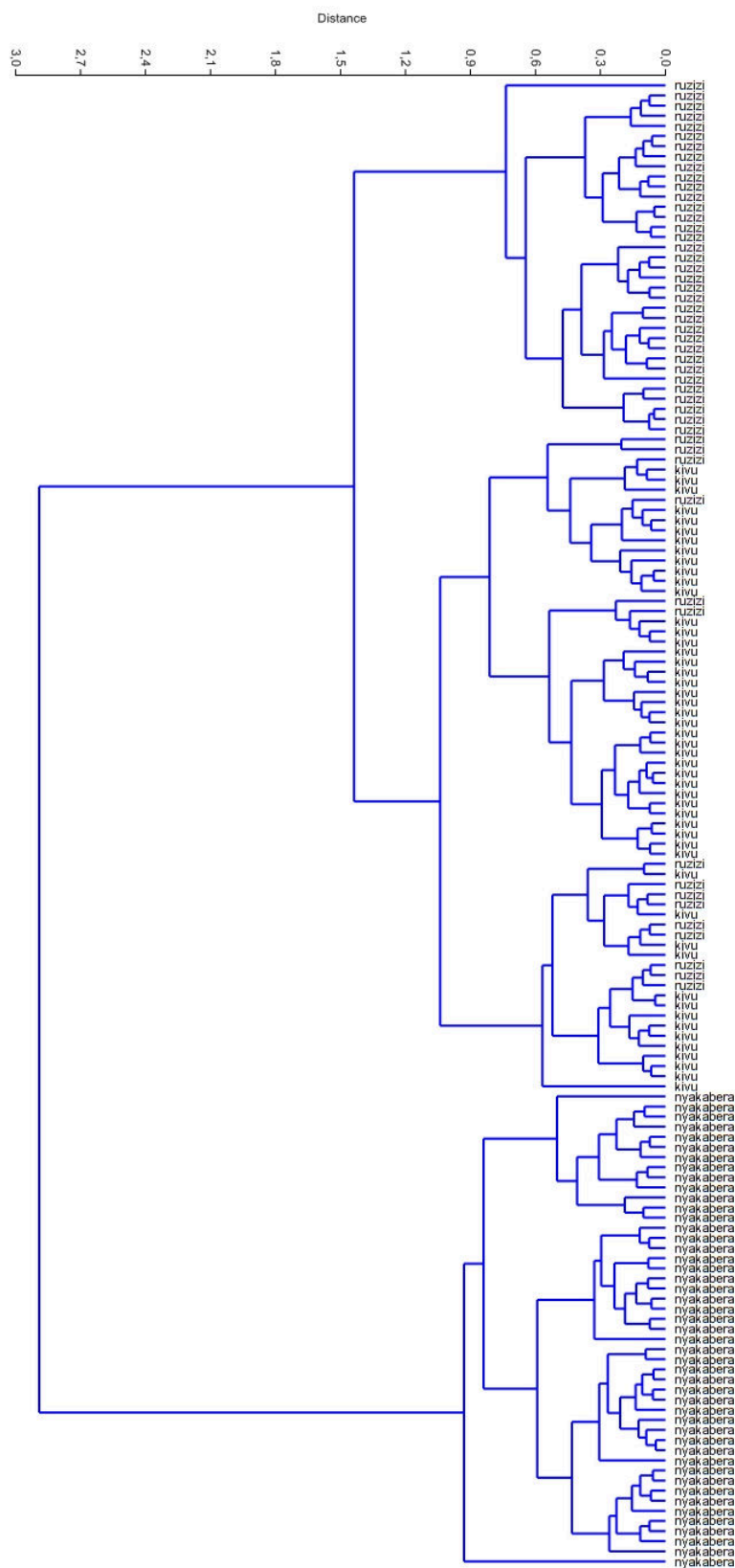


Fig. 3. Diagramme de l'ACP (CP1 par rapport à CP2) de 3 souches d'*Oreochromis niloticus*. (a) : caractères morphométriques ; (b) : caractères méristiques. Carré = souche Ruzizi; cercle = souche Lac Kivu ; triangle = souche Nyakabera.

Pour l'analyse discriminante, le pourcentage moyen d'individus correctement classés était de 97,28% par rapport aux caractères morphométriques. Pour les souches prises individuellement, le taux de classification correcte était de 100% pour Nyakabera, 98% pour Lac Kivu et 94% pour Ruzizi. Par rapport à la classification hiérarchique, le dendrogramme montre aussi

deux groupes principaux : *O. niloticus* de Nyakabera forme une branche séparée de celle comprenant Lac Kivu et Ruzizi étroitement regroupés (Figure 4).



**Fig. 4. Dendrogramme de l'analyse de la classification hiérarchique de 3 souches d'*Oreochromis niloticus* (Lac Kivu, Ruzizi et Nyakabera) basé sur les caractères morphométriques**



### 3.2 CARACTERES MERISTIQUES

Le tableau 4 présente les statistiques descriptives calculées pour les 5 caractères méristiques qui ont montré à première vue une certaine variabilité entre les 3 populations.

**Tableau 4. Statistiques descriptives pour les caractères méristiques de 3 souches d'*Oreochromis niloticus***

	Traits	D1	D2	Arbr	ScLL	GR
<b>Lac Kivu (n = 50)</b>	Min-Max	16-17	12-13	0-0	30-38	26-38
	X ± SD	16,8 ± 0,4 <sup>bc</sup>	12,1 ± 0,1 <sup>b</sup>	0 <sup>b</sup>	33,9 ± 1,6	33,1 ± 2,2 <sup>bc</sup>
	CV %	2,2	1,2	0,0	4,8	6,7
<b>Nyakabera (n = 47)</b>	Min-Max	16-18	11-13	0-7	29-37	28-36
	X ± SD	16,9 ± 0,6 <sup>bc</sup>	12,5 ± 0,7 <sup>c</sup>	3,1 ± 2,3 <sup>c</sup>	34,5 ± 1,6	32,1 ± 1,9 <sup>abc</sup>
	CV %	3,7	5,5	75,8	4,7	5,9
<b>Ruzizi (n = 50)</b>	Min-Max	16-17	10-13	0-6	29-38	28-36
	X ± SD	16,4 ± 0,5 <sup>a</sup>	11,4 ± 0,8 <sup>a</sup>	1,7 ± 2,2 <sup>a</sup>	33,8 ± 1,2	31,5 ± 2,2 <sup>ac</sup>
	CV %	3,0	7,1	126,0	5,9	7,0
<b>ANOVA</b>	p	<0,001	<0,001	<0,001	0,1786	<0,001

n: taille de l'échantillon ; X: moyenne; Min-Max: minimum et maximum ; SD : écart-type ; CV : coefficient de variation.  
Les moyennes dans la même colonne portant des lettres différentes en exposant diffèrent significativement ( $p < 0,05$ ).

Par rapport à ces caractères, la variation intra-population est faible ( $CV < 15\%$ ) dans les 3 groupes, à l'exception du nombre des rayons branchus sur la nageoire anale (Arbr) pour Nyakabera et Ruzizi. Aucun rayon branchu n'a été observé sur la nageoire anale chez *O. niloticus* du lac Kivu alors qu'on en a compté jusqu'à 6 ou 7 dans les deux autres souches. Par ailleurs, la variation est significative ( $p < 0,001$ ) entre les 3 souches sauf pour le nombre d'écaillés sur la ligne latérale (ScLL). La comparaison des souches deux à deux montre que Nyakabera diffère significativement ( $p < 0,001$ ) de Ruzizi et de Lac Kivu respectivement par 3 et 2 caractères. Les deux souches naturelles (Ruzizi et Lac Kivu) diffèrent entre elles par les 4 caractères méristiques trouvés significatifs (D1, D2, Arbr et GR).

Pour l'ACP réalisée avec les 4 caractères significatifs susmentionnés, les 3 premières composantes contribuent à 85,1% à la variance totale, avec respectivement 37,1%, 26,0% et 22,0%. Les caractères les plus significatifs sur ces 3 composantes sont le nombre des rayons mous sur la nageoire dorsale (D2) à la CP1, le nombre des rayons épineux sur la nageoire dorsale (D1) et le nombre des rayons branchus sur la nageoire anale (Arbr) sur la CP2 et le nombre des rayons épineux sur la nageoire dorsale (D1) et le nombre des branchiospines sur la partie inférieure du premier arc branchial (GR) sur la CP3 (Tableau 5).

**Tableau 5. Coefficients factoriels et contribution à la variance totale des CP1, CP2 et CP3 pour les caractères méristiques**

	CP 1	CP 2	CP 3
% variance	37,1	26,0	22,0
D1	0,33509	<b>0,65772</b>	<b>0,63071</b>
D2	<b>0,66737</b>	-0,12191	0,050786
Arbr	0,49163	<b>-0,63495</b>	0,18603
GR	0,44793	0,3865	<b>-0,75168</b>

En gras : caractères à haute charge ( $|>0,6|$ )

Le graphique de l'ACP de la CP1 contre la CP2 pour les 4 caractères méristiques significatifs (Figure 3b) montre un important chevauchement des 3 populations, avec une dispersion des individus sur les parties négatives et positives de deux axes. La classification hiérarchique (Figure 5) confirme cette tendance à la dispersion.

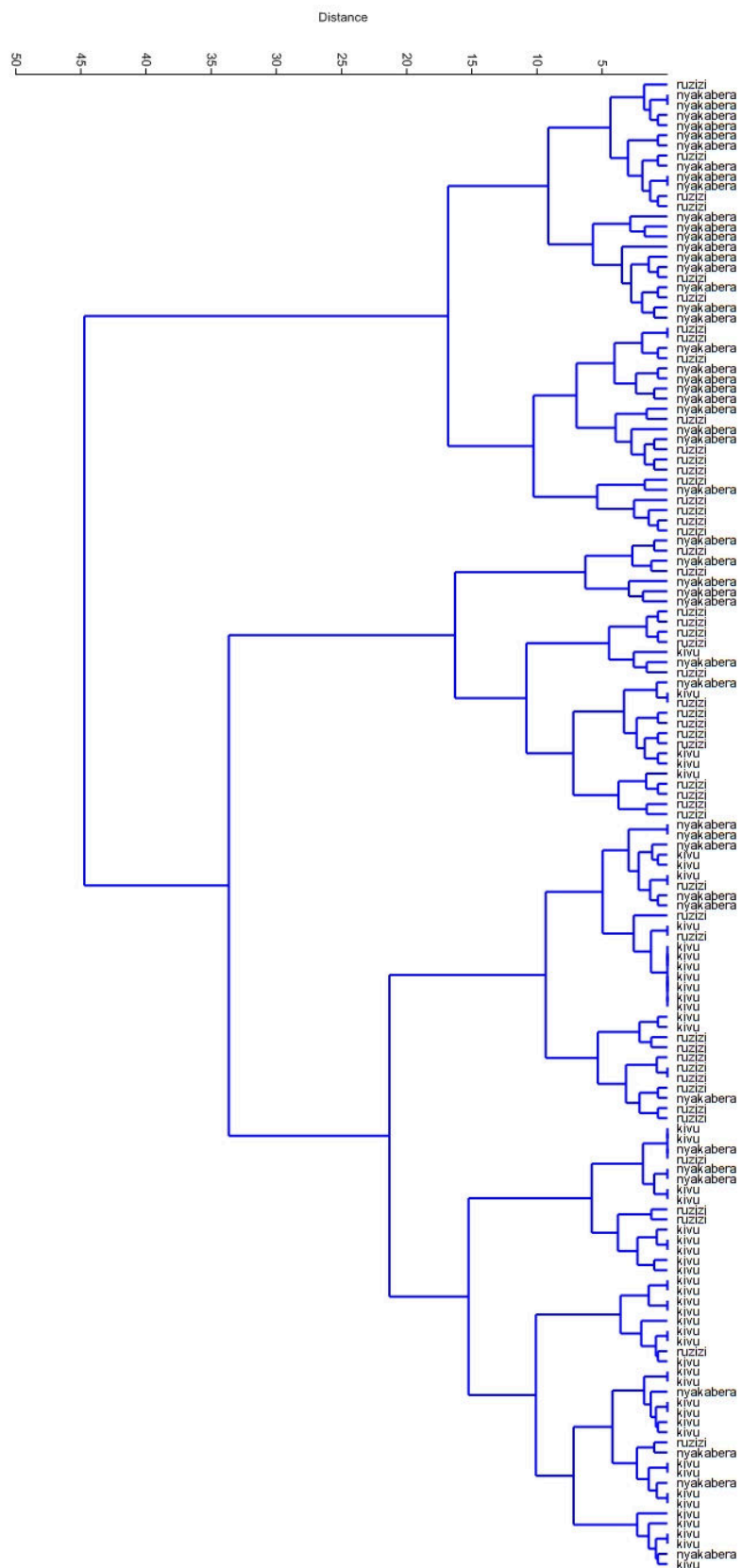


Fig. 5. Dendrogramme de l'analyse de la classification hiérarchique de 3 souches d'*Oreochromis niloticus* (Lac Kivu, Ruzizi et Nyakabera) basé sur les caractères méristiques.

#### 4 DISCUSSION

Dans cette étude, les valeurs du coefficient de variation inférieures à 15%, pour presque tous les caractères morphométriques et méristiques examinés dans les 3 populations d'*Oreochromis niloticus*, indiquent une faible variabilité morphologique, en référence au seuil pratique en matière de dispersion statistique. Ce qui traduit une homogénéité à l'intérieur de chacune de ces populations. En accord avec [32], ce résultat s'expliquerait par le fait que chaque échantillon a été constitué à partir de poissons qui, pour la souche d'élevage, sont de même cohorte et, pour les souches naturelles, vivent dans le même milieu et donc soumis à des conditions environnementales identiques.

Les résultats obtenus à la suite de la comparaison des échantillons de 3 populations caractère par caractère par l'ANOVA a montré que celles-ci sont significativement différentes par 21 sur 26 caractères morphométriques et 4 sur 5 caractères méristiques. Par rapport à cette analyse, pour les 26 caractères morphométriques, la souche Nyakabera (d'élevage) se différencie de souches Lac Kivu et Ruzizi (naturelles) respectivement par 69% et 62% de ces caractères alors que ces deux dernières souches diffèrent moins fortement entre elles (50% de caractères). Cette observation dénote une importante variation phénotypique entre les 3 populations, variation dont le sens est beaucoup plus mis en évidence par les caractères morphométriques. Cette tendance est nettement ressortie par l'ACP puis par l'analyse par groupes (clusters) des données morphométriques et méristiques. L'ACP, selon [33], a comme but de réduire un nombre important de variables initiales en un petit nombre de variables dérivées ou composantes qui résument adéquatement l'information et peuvent être utilisées pour une analyse plus approfondie. Une telle approche multivariée a l'avantage majeur de tenir en compte directement la covariation des paramètres morphologiques dans l'analyse de la variation, contrairement à l'analyse univariée qui masque une grande part de la variation morphologique ([2]). L'application de l'ACP tout comme l'analyse par groupes sur les données de cette étude a ainsi montré qu'effectivement c'est par les caractères morphométriques (et non méristiques) que la souche Nyakabera se distingue nettement de souches du Lac Kivu et de la Rivière Ruzizi (Figures 3, 4 et 5).

Certaines études portant sur la comparaison des variations morphologiques chez les poissons ([34]; [14]) ont trouvé que les caractères morphométriques sont plus convenables que les caractères méristiques pour une bonne discrimination des populations au sein des espèces. Ce faible pouvoir de résolution des traits méristiques pourrait être mis en relation avec le fait qu'ils sont beaucoup plus conservateurs et nécessitent pour changer une période de temps plus longue ([35]).

Des cas de variations morphométriques entre des populations naturelles et domestiques ont été rapportés tant pour *O. niloticus* que pour d'autres espèces de poissons dans d'autres contextes. On peut citer entre autres, pour *O. niloticus*, les études de [36] au Mexique, [37] en Colombie ; pour *Clarias gariepinus*, [16] et [38] au Nigeria ; pour *Cichlasoma festae* à l'Equateur ([21]) et pour *Gobiocypris rarus* en Chine ([14]). En référence aux données de l'ACP réalisée pour les données morphométriques, la hauteur du corps sur la première composante principale et la longueur de l'os pharyngéal, la longueur de la plus longue épine dorsale ainsi que la longueur de la 3<sup>e</sup> épine anale sur la deuxième composante principale sont les caractères les plus déterminants dans la différenciation observée entre les 3 souches d'*O. niloticus* étudiées.

Après le regroupement qui donne d'une part la souche Nyakabera et d'autre part les souches Lac Kivu et Ruzizi, il apparaît que c'est la hauteur du corps qui est le principal trait distinctif entre les 2 groupes, tandis que la séparation partielle entre Lac Kivu et Ruzizi serait due à la longueur de la zone dentée de l'os pharyngéal. De façon générale, ici c'est la corpulence qui semble être mise en cause mais pour *O. niloticus* en particulier, quelques données de la littérature consultée ([24]; [22]; [7]) dénotent que les caractères explicatifs de la différenciation morphologique varient en fonction des caractères morphologiques ciblés comme descripteurs et du type d'approche statistique utilisée.

En tout état de cause, la différenciation entre la souche Nyakabera et les deux souches naturelles et la proximité morphologique entre celles-ci serait en relation d'une part avec des différences dans leurs conditions environnementales et d'autre part avec leur géographie et leur histoire de vie. Il est bien connu que les caractères morphométriques chez les poissons peuvent montrer une grande plasticité par rapport aux différences dans les conditions environnementales telles que les types de proies, la disponibilité alimentaire, la température, la salinité ([39]; [40]; [41]; [42]; [43]; [44]; [7]). Cette plasticité phénotypique permet aux poissons de répondre de manière adaptative aux changements dans l'environnement en modifiant leur physiologie et leur comportement. Ceci conduit à des changements dans leur morphologie, reproduction et survie, lesquels changements atténuent en retour les effets des changements environnementaux ([11]).

Par ailleurs, la différenciation morphométrique observée entre les souches naturelles et d'élevage pourrait être aussi attribuable aux facteurs génétiques ([45]; [15]). Ceci dans la mesure où le phénotype d'un individu est une manifestation de son génotype sous-jacent, tel qu'exprimé dans l'environnement local durant le développement ([46]). Bien que pour certains ([47]; [40]; [48]), la détection des différences phénotypiques entre populations ne peut pas habituellement être considérée comme une preuve d'une différenciation génétique, la concordance entre la divergence morphologique et la diversité génétique entre souches sauvage et cultivée d'une même espèce a été vérifiée notamment par [20] avec *O. niloticus* en Egypte et par [38] avec *Clarias gariepinus* au Nigeria. A l'issue d'une approche combinant une analyse morphologique et une analyse

génétique, [38] a trouvé que la souche sauvage, présentant une variation morphométrique plus significative, se caractérise aussi par une grande diversité génétique comparativement à la souche d'élevage. La réduction de la diversité génétique chez les souches d'élevage serait due à des phénomènes tels que la dépression de la consanguinité, l'effet stock fondateur tout comme la dérive génétique ([49]).

La proximité morphométrique observée entre la souche d'*O. niloticus* du lac Kivu et celle de la rivière Ruzizi pourrait s'expliquer par la continuité géographique entre les deux hydrosystèmes, impliquant la similarité de certains facteurs écologiques, mais aussi un passé commun à ces deux souches qui les éloignent de la souche Nyakabera. Les poissons de l'échantillon du lac Kivu utilisés dans la présente étude sont certes séparés de ceux de la rivière Ruzizi par un barrage hydroélectrique mais ils proviennent tous d'un même stock d'origine d'*O. niloticus* trouvé dans le lac Kivu au moment de sa formation ([4]). La souche Nyakabera, évolue depuis des décennies dans des conditions de captivité, comme indiqué plus haut. La relation entre les différences morphométriques entre stocks de poissons et leurs origines géographiques et ancestrales est soulignée par [8]. Cette relation a été illustrée à travers l'étude de [7] qui a observé un lien direct entre la proximité morphométrique de deux populations d'*O. niloticus* et la proximité géographique du lac et de la rivière constituant leurs habitats respectifs. De même, [50], s'intéressant à l'analyse morphométrique de 5 souches génétiquement améliorées d'*O. niloticus* mises au point aux Philippines, a constaté un regroupement de celles-ci en fonction de leurs origines respectives. La même observation a été faite par [51] avec deux souches cultivées d'*O. niloticus* (dénommées CEFRA et Kajjansi), dont les origines lointaines sont situées respectivement en Egypte et aux lacs Victoria et Kyoga.

## 5 CONCLUSION

Les résultats de cette étude indiquent qu'*Oreochromis niloticus* du lac Kivu et celui de la rivière Ruzizi, dans le tronçon juste en aval du barrage Ruzizi I, sont faiblement différenciés sur le plan morphologique. Ces deux populations naturelles sont par contre à ce point de vue nettement différenciées de la souche d'élevage largement diffusée dans les piscicultures au Sud-Kivu. Il serait intéressant de vérifier à l'avenir à l'aide des essais zootechniques si cette différence morphométrique, supposée corrélée avec une divergence génétique, n'a pas d'impact sur les performances de croissance et de reproduction.

## REFERENCES

- [1] S. P. Samaradivakara, N. Y. Hirimuthugoda, R. H. A. N. M. Gunawardana, R. J. Illeperuma, N. D. Fernandopulle, A. D. De Silva, and P. A. B. D. Alexander, "Morphological Variation of Four Tilapia Populations in Selected Reservoirs in Sri Lanka", *Tropical Agricultural Research*, vol. 23 no. 2, pp. 105–116, 2012.
- [2] H. A. Hassanien, E. A. Kamel, M.A. Salem, and A.S. Dorgham, "Multivariate Analysis of Morphometric Parameters in Wild and Cultured Nile Tilapia *Oreochromis niloticus*", *Journal of the Arabian Aquaculture Society*, vol. 6, no. 2, pp. 237–250, 2011.
- [3] J.-C. Micha, "La pisciculture dans le bassin du Congo : passé, présent et futur", USTHB-FBS-4th International Congress of Populations & Animal Communities "Dynamics & Biodiversity of terrestrial & aquatic Ecosystems" CIPCA4 TAGHIT (Bechar) – ALGERIA, pp. 19-21, 2013.
- [4] J. Snoeks, L. De Vos, and D.F.E. Thys van den Audenaerde, "The ichthyogeography of Lake Kivu", *South African Journal of Science*, vol. 93, pp. 579-584, 1997.
- [5] C. Turan, "Stock identification of Mediterranean horse mackerel (*Trachurus mediterraneus*) using morphometric and meristic characters", *ICES Journal of Marine Science*, vol. 61, pp. 774-781, 2004.
- [6] O. Fagbua, J. A. Oso, M. B. Olurotimi, and O. Akinyemi, "Morphometric and Meristic Characteristics of *Clarias gariepinus* from Controlled and Uncontrolled Population from Southwestern Nigeria", *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, vol. 2, no. 1, pp. 39-45, 2015.
- [7] T. O. Amoussou, A. Togyeni, T. I. Imorou, A. Chikou, and A. K. I. Youssao, "Analysis of Morphological Parameters of Wild Populations of *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) of the Three Hydrographic Basins of Southern Benin", *European Journal of Academic Essays*, vol. 4, no. 1, pp. 1-11, 2017.
- [8] M. A. R. Hossain, M. Nahiduzzaman, D. Saha, M. U. Habiba Khanam, and M. S. Alam, "Landmark-Based morphometric and meristic Variations of the Endangered Carp, Kalibaus *Labeo calbasu*, from Stocks of Two Isolated Rivers, the Jamuna and Halda, and a Hatchery", *Zool. Stud.*, vol. 49, pp. 556-563, 2010.
- [9] C. Kara, A. Alp, and M.E. Gürlek, "Morphological Variations of the Trouts (*Salmotrutta* and *Salmo platycephalus*) in the Rivers of Ceyhan, Seyhan and Euphrates, Turkey", *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol.11, pp. 77-85, 2011.
- [10] H. N. Cabral, J. F. Marques, A. L. Rego, A. I. Catarino, J. Figueiredo, and J. Garcia, "Genetic and morphological variation of *Synaptura lusitanica* Capello, 1868, along the Portuguese coast", *Journal of Sea Research*, vol. 50, pp. 167-175, 2003.

- [11] S. C. Stearns, "A natural experiment in life-history evolution: field data on the introduction of mosquitofish (*Gambusia affinis*) to Hawaii", *Evolution*, vol. 37, pp. 601-617, 1983.
- [12] A. Meyer, "Phenotypic plasticity and heterochrony in *Cichlasoma managuense* (Pisces, Cichlidae) and their implication for speciation in cichlid fishes", *Evolution*, vol. 41, pp. 1357-1369, 1987.
- [13] I. T. Omoniye, and A. O. Agbon, "Morphometric Variations in *Sarotherodon melanotheron* (Pisces: Cichlidae) from Brackish and Fresh Water Habitats in South-western Nigeria", *West African Journal of Applied Ecology*, vol. 12, pp. 101-105, 2007.
- [14] Y. Shao, J. Wang, Y. Qiao, Y. He, and W. Cao, "Morphological Variability Between Wild Populations and Inbred Stocks of a Chinese Minnow *Gobiocypris rarus*", *ZOOLOGICAL SCIENCE*, vol. 24, pp. 1094-1102, 2007.
- [15] B. Adépo-Gourène, et G. Gourène, "Différenciation morphologique des populations naturelles d'une sous-espèce de tilapia *Sarotherodon melanotheron melanotheron* Rüppell, 1852 (Teleostei ; Cichlidae) de Côte d'Ivoire», *Sciences & Nature*, vol. 5, no. 1, pp. 15 – 27, 2008.
- [16] S. O. Solomon, V. T. Okomoda, and A. I. Ogbenyikwu, "Intraspecific morphological variation between cultured and wild *Clarias gariepinus* (Burchell) (Clariidae, Siluriformes)", *Arch. Pol. Fish*, vol. 23, pp. 53-61, 2015.
- [17] M. Mwanja, C. Ondhoro, M. Sserwada, P. Achieng, R. Ddungu, and W. Mwanja, "Morphological variation of Nile tilapia populations from major water bodies of Uganda", *Uganda Journal of Agricultural Sciences*, vol. 17, no. 1, pp. 21-32, 2016.
- [18] T. Kisekelwa, G. Boden, J. Snoeks, and E. Vreven, "*Marcusenius kaningini*, a new species of elephant fish from Lowa River basin, Democratic Republic of the Congo (Osteoglossiformes: Mormyridae)". *Ichthyol. Explor. Freshwaters*, vol. 26, no. 4, 341-352, 2016.
- [19] T. C. Ndiwa, D. W. Nyingi, J. Claude, and J. F. Agnèse, "Morphological variations of wild populations of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) living in extreme environmental conditions in the Kenyan Rift-Valley", *Environ Biol Fish*, vol. 99, pp. 473-485, 2016.
- [20] S. Y. El-Zaeem, M. M. M. Ahmed, M.E-S. Salama, and W.N. Abd El-Kader, "Phylogenetic differentiation of wild and cultured Niletilapia (*Oreochromis niloticus*) populations based on phenotype and genotype analysis", *African Journal of Agricultural Research*, vol. 7, no. 19, pp. 2946-2954, 2012.
- [21] M. A. González, J. M. Rodríguez, E. Angón, A. Martínez, A. Garcia, and F. Peña, "Characterization of morphological and meristic traits and their variations between two different populations (wild and cultured) of *Cichlasoma festae*, a species native to tropical Ecuadorian rivers", *Arch. Anim. Breed.*, vol. 59, pp. 435-444, 2016.
- [22] F. J. Nihoreye, R. D. Muzumani, et M. V. Nshombo, "Résultats préliminaires sur la différenciation morphologique des deux souches du tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (Teleostei, Cichlidae) utilisées en pisciculture à l'Est de la R.D. Congo", *Cahier du CERUKI, Nouvelle série*, vol. 39, pp. 192-200, 2009.
- [23] J. D. Reist, "An empirical evaluation of several univariate methods that adjust for size variation in morphometric variation", *Canadian Journal of Zoology*, vol. 63, pp. 1429-1439, 1985.
- [24] E. J. Vreven, B. Adépo-Gourène, J.-F. Agnèse, and G.G. Teugels, "Morphometric and allozyme variation in natural populations and cultured strains of the Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Teleostei, Cichlidae)", *Belg. J. Zool.*, vol. 128, no. 1, pp. 23-34, 1998.
- [25] M. Sajina, S. K. Chakraborty, A. K. Jaiswar, and D. Sudheesan, "Morphometric and meristic analyses of horse mackerel, *Megalaspis cordyla* (Linnaeus, 1758) populations along the Indian coast», *Indian J. Fish.*, vol. 60, no. 4, pp. 27-34, 2013.
- [26] C. Turan, M. Oral, B. Ozturk, and E. Duzgunes, "Morphometric and meristic variation between stocks of Bluefish (*Pomatomus saltatrix*) in the Black, Marmara, Aegean and Northeastern Mediterranean Sea". *Fish. Res.*, vol. 79, no. 1-2, pp. 139-147, 2006.
- [27] G. Gourène, et G.G. Teugels, "Différenciation morphologique de souches des tilapias *Oreochromis niloticus* et *O. aureus* (Teleostei, Cichlidae) utilisées en pisciculture", *Cybium*, vol. 17, pp. 343-355, 1993.
- [28] P. Kashefi, A. Bani, and E. Ebrahimi, "Morphometric and meristic variations between non-reproductive and reproductive kutum females (*Rutilus frisii kutum*, Kamensky, 1901), in the southwest Caspian Sea", *Italian Journal of Zoology*, vol. 79, no. 3, pp. 337-343, 2012.
- [29] E. A. Veasey, E. A. Schammas, R. Vencovsky, P. S. Martins, and G. Bandel, "Germplasm characterization of *Sesbania* accessions based on multivariate analyses", *Genet. Resour. Crop. E.*, vol. 48, pp. 79-90, 2001.
- [30] Ø. Hammer, D. A. T. Harper, and P. D. Ryan, "PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis", *Palaeontologia Electronica*, vol. 4, no. 1, p. 9, 2001.
- [31] Z. Mamuris, A. P. Apostolidis, P. Panagiotaki, A. J. Theodorou, and C. Triantaphyllidis, "Morphological variation between red mullet populations in Greece", *J Fish Biol*, vol. 52, pp. 107-117, 1998.
- [32] Y. N. Amon, K. Yao, M. Ouattara, Y. C. Kouman, et B. C. Atse, "Morphologie des hybrides issus du croisement intergénérique entre *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) et *Sarotherodon melanotheron* (Rüppell, 1852)", *Journal of Applied Biosciences*, vol. 69, pp. 5475-5486, 2013.
- [33] L. I. Smith, "A Tutorial on Principal Components Analysis", 2002. <http://kybele.psych.cornell.edu/~edelman/Psych-465-Spring-2003/PCA-tutorial.pdf>

- [34] R. K. Misra, and J. E. Carscadden, "A multivariate analysis of morphometrics to detect differences in populations of capelin (*Mallotus villosus*)", *J. Cons. Int. Expl. Mer.*, vol. 43, pp. 99-106, 1987.
- [35] D. Khrystenko, G. Kotovska, and R. Novitskij, "Length-Weight Relationships and Morphological Variability of Black-Striped Pipefish *Syngnathus abaster* Risso, 1827 in the Dnieper River Basin", *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 15, pp. 609-618, 2015.
- [36] I. D. Barriga-Sosa, M. D. Jiménez-Badillo, A. L. Ibáñez, and J. L. Arredondo-Figueroa, "Variability of tilapias (*Oreochromis* spp.) introduced in Mexico: morphometric, meristic and genetic characters", *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 20, pp. 7-14, 2004.
- [37] B. Narváez, A. Acero, and J. Blanco, "Variación morfométrica en poblaciones naturalizadas y domesticadas de la tilapia del Nilo *Oreochromis niloticus* (Teleostei : Cichlidae) en el norte de Colombia », *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias*, vol. 29, pp. 383-394, 2005.
- [38] E. V. Ikpeme, O. U. Udensi, M. C. Okolo, F. U. Ogban, N. G. Ufford, E. U. Odo, and B.O. Asuquo, "Genetic Relatedness of *Clarias gariepinus* (L.) from Cultured and Wild Populations Using Multivariate Analyses", *Asian J. Anim. Sci.*, vol. 10, no. 2, pp. 131-138, 2016.
- [39] A. E. Dunham, G. R. Smith, and J. N. Taylor, "Evidence for ecological character displacement in western American catostomid fishes", *Evolution*, vol. 33, pp. 877-896, 1979.
- [40] F.W. Allendorf, "Conservation biology of fishes", *Conserv. Biol.*, vol. 2, pp. 145-148, 1988.
- [41] J. D. Thompson, "Phenotypic plasticity as a component of evolutionary change", *Trends Ecol. Evol.*, 6: 246-249, 1991.
- [42] P. H. Wimberger, "Plasticity of fish body shape, the effects of diet, development, family and age in two species of *Geophagus* (Pisces: Cichlidae)", *Biol. J. Linn. Soc.*, vol. 45, pp. 197-218, 1992.
- [43] J. F. Agnese, G. G. Teugels, P. Galbusera, R. Guyomard, and F. Volckaert, "Morphometric and genetic characterization of sympatric populations of *C. gariepinus* and *C. anguillaris* from Senegal", *J Fish Biol.*, vol. 50, pp. 1143-1157, 1997.
- [44] M. A. Tawwab, "Predation efficiency of Nile catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) on fry of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758): Effects of prey density, predator size feed supplementation and submerged vegetation», *Turkish J Fish Aquatic Sci.*, vol. 5, pp. 69-74, 2005.
- [45] A. G. Murta, "Morphological variation of horse mackerel (*Trachurus trachurus*) in the Iberia and North African Atlantic: implications for stock identification", *ICES J. Mar. Sci.*, 57: 1240-1248, 2000.
- [46] D. Jerry, and S. Cairns, "Morphological variation in the catadromous Australian bass, from seven geographically distinct riverine drainages", *Journal of Fish Biology*, vol. 52, pp. 829-843, 1998.
- [47] P. E. Ihssen, H. E. Booke, J. M. Casselman, J. M. McGlade, N. R. Payne, and F.M. Utter, "Stock identification: Materials and methods", *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 38, pp. 1838-1855, 1981.
- [48] S. Tudela, "Morphological variability in a Mediterranean, genetically homogeneous population of the European Anchovy, *Engraulis encrasicolus*", *Fish. Res.*, vol. 42, pp. 229-243, 1999.
- [49] L. D. Van Der Walt, F. H. Van Der Bank, and G.J. Steyn, "The suitability of using cryopreservation of spermatozoa for the conservation of genetic diversity in African catfish (*Clarias gariepinus*)", *Comp. Biochem. Psychol. Part A: Physiol.*, vol. 106, pp. 313-318, 1993.
- [50] C. V. L. Oponda, B. S. Santos, and Z. U. Basiao, "Morphological differences in five strains of genetically improved Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) using geometric morphometrics", *J. ISSAAS*, vol. 23, no. 1, pp. 44-55, 2017.
- [51] K. S. Kambale, "Sélection et amélioration génétique du tilapia en zones tropicales de montagnes : réponse comparée entre populations locales et populations importées", Thèse de doctorat, Presses Universitaires du Graben, Butembo, 207 p., 2012.