

ORIGINAL ARTICLE

PERFORMANCES MORPHOMÉTRIQUES DE TROIS RACES CAPRINES DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITÉ HYDRIQUE CONTRASTÉE : ÉTUDE DANS LE DISTRICT D'AMBOVOMBE, MADAGASCAR



Morphometric Performances of Three Goat Breeds in a Context of Contrasting Water Availability: Study in the District of Ambovombe, Madagascar

| Helinoro Diamondra RAZAIVAOVOLOLONIAINA * | Sergio Ruffin Damy Milaso BANDAHY | et | Hacynicolas Finoana Arizo
RANDRIAMANDRATONDRAKOTONIRINA |

¹: Institut Supérieur de Technologie Ambositra | Ambositra | Madagascar |

| DOI: 10.5281/zenodo.15328130 | | Received April 20, 2025 | | Accepted April 29, 2025 | | Published May 03, 2025 | | ID Article | Helinoro-Ref9-4-20ajiras260425 |

RÉSUMÉ

Introduction : Dans les régions semi-arides du sud de Madagascar, notamment dans le district d'Ambovombe, l'élevage caprin représente une activité socio-économique stratégique pour les populations rurales. Cependant, l'accès limité aux ressources hydriques constitue une contrainte majeure à la productivité animale, dont l'impact sur les performances morphométriques des différentes races caprines reste insuffisamment documenté. **Objectif** : Cette étude visait à évaluer l'effet de la disponibilité en eau sur les caractéristiques morphométriques de trois races caprines (Boer, Métisse et Locale) en comparant les données issues de zones géoécologiques contrastées du district d'Ambovombe. **Méthode** : Une enquête transversale a été réalisée entre septembre et novembre 2023 dans six communes représentatives du district, stratifiées selon leur profil géoécologique : zones cristallines (plus sèches) et zones sédimentaires (accès à l'eau plus favorable). Un échantillon de 304 caprins adultes (Boer, n=50 ; Métisse, n=74 ; Locale, n=180) a été constitué par échantillonnage empirique. Six paramètres morphométriques ont été mesurés : poids vif, hauteur au garrot, longueur corporelle, tour thoracique, tour abdominal et tour spiral. Les données ont été analysées par ANOVA univariée suivie de tests post-hoc de Tukey pour les comparaisons multiples, et par Analyse en Composantes Principales (ACP) pour évaluer les corrélations entre variables. **Résultats** : L'analyse statistique a révélé des différences significatives entre les races pour l'ensemble des paramètres morphométriques étudiés, notamment pour le tour spiral ($F(2, 42) = 17,87$; $p < 0,01$), le tour de poitrine ($F(2, 42) = 6,69$; $p < 0,05$) et le tour abdominal ($F(2, 42) = 7,45$; $p < 0,01$). La race Boer a présenté les mesures les plus élevées avec une remarquable homogénéité phénotypique, notamment pour le tour spiral ($124,43 \pm 6,92$ cm) et le tour abdominal ($92,40 \pm 1,69$ cm), significativement supérieures à celles de la race Locale (différence = 20,90 cm, $q = 5,97$, $p < 0,01$ pour le tour spiral ; différence = 11,55 cm, $q = 3,83$, $p < 0,05$ pour le tour abdominal) avec des tailles d'effet considérables (d de Cohen = 2,93 et 1,78, respectivement). Par ailleurs, l'analyse comparative entre zones géoécologiques a démontré que les caprins évoluant en zone sédimentaire présentaient des performances morphométriques significativement supérieures à ceux des zones cristallines, indépendamment de la race, confirmant l'influence déterminante de la disponibilité en eau sur le développement corporel des animaux. **Conclusion** : Cette étude démontre l'existence d'une corrélation significative entre l'accessibilité aux ressources hydriques et les performances morphométriques des caprins dans le district d'Ambovombe. Si la race constitue un facteur de variation important des caractéristiques biométriques, la disponibilité en eau apparaît comme un déterminant environnemental majeur du développement corporel. Ces résultats soulignent l'importance de stratégies combinant la sélection génétique adaptée et l'amélioration de l'accès à l'eau pour optimiser la productivité caprine dans les zones semi-arides de Madagascar.

Mots-clés : disponibilité en eau, performances caprines, morphométrie, adaptation en milieu aride, Ambovombe.

ABSTRACT

Introduction: In the semi-arid regions of southern Madagascar, particularly in the Ambovombe district, goat farming represents a strategic socio-economic activity for rural populations. However, limited access to water resources constitutes a major constraint on animal productivity, and its impact on the morphometric performance of different goat breeds remains insufficiently documented. **Objective**: This study aimed to evaluate the effect of water availability on the morphometric characteristics of three goat breeds (Boer, Mixed-breed, and Local) by comparing data from contrasting geo-ecological zones in the Ambovombe district. **Method**: A cross-sectional survey was conducted between September and November 2023 in six representative communes of the district, stratified according to their geo-ecological profile: crystalline zones (drier) and sedimentary zones (more favorable water access). A sample of 304 adult goats (Boer, n=50; Mixed-breed, n=74; Local, n=180) was established through empirical sampling. Six morphometric parameters were measured: live weight, height at withers, body length, thoracic circumference, abdominal circumference, and spiral circumference. Data were analyzed by univariate ANOVA followed by Tukey's post-hoc tests for multiple comparisons, and by Principal Component Analysis (PCA) to evaluate correlations between variables. **Results**: Statistical analysis revealed significant differences between breeds for all morphometric parameters studied, particularly for spiral circumference ($F(2, 42) = 17.87$; $p < 0.01$), chest circumference ($F(2, 42) = 6.69$; $p < 0.05$), and abdominal circumference ($F(2, 42) = 7.45$; $p < 0.01$). The Boer breed showed the highest measurements with remarkable phenotypic homogeneity, notably for spiral circumference (124.43 ± 6.92 cm) and abdominal circumference (92.40 ± 1.69 cm), significantly higher than those of the Local breed (difference = 20.90 cm, $q = 5.97$, $p < 0.01$ for spiral circumference; difference = 11.55 cm, $q = 3.83$, $p < 0.05$ for abdominal circumference) with considerable effect sizes (Cohen's d = 2.93 and 1.78, respectively). Furthermore, comparative analysis between geo-ecological

zones demonstrated that goats living in sedimentary zones presented significantly superior morphometric performances compared to those in crystalline zones, regardless of breed, confirming the determining influence of water availability on the animals' body development. **Conclusion:** This study demonstrates the existence of a significant correlation between accessibility to water resources and morphometric performance of goats in the Ambovombe district. While breed is an important factor of variation in biometric characteristics, water availability appears to be a major environmental determinant of body development. These results highlight the importance of strategies combining adapted genetic selection and improved water access to optimize goat productivity in the semi-arid zones of Madagascar.

Keywords: water availability, goat performance, morphometry, adaptation in arid environments, Ambovombe.

1. INTRODUCTION

L'élevage caprin représente une activité économique fondamentale pour les communautés rurales des régions semi-arides, particulièrement dans le sud de Madagascar. Dans la région d'Androy, les caprins constituent non seulement une source cruciale de revenus, mais également un pilier de la sécurité alimentaire et un mécanisme de résilience face à la variabilité climatique. Cette région se caractérise par un climat tropical sec marqué par une pluviométrie annuelle inférieure à 500 mm et des périodes récurrentes de sécheresse prolongée, entraînant une forte limitation des ressources naturelles, notamment en termes d'eau et de pâturages (FAO, 2021) [1].

Les performances zootechniques des caprins dans ces environnements contraints sont étroitement liées à l'accès à l'eau, facteur qui influence directement l'abreuvement des animaux mais également, de façon indirecte, la disponibilité et la qualité nutritionnelle des ressources fourragères. Des études menées dans des contextes écologiques comparables, notamment en zones sahéliennes et semi-arides, ont établi des corrélations significatives entre la disponibilité hydrique et plusieurs paramètres de productivité chez les petits ruminants, incluant la croissance pondérale, les performances reproductives et le maintien de l'état corporel (Kebede et al., 2021) [2]. À Madagascar, malgré l'importance numérique du cheptel caprin dans la région d'Androy, estimé à plus de 321 000 têtes (INSTAT, 2020) [3], les interactions entre l'accès aux ressources hydriques et les performances morphométriques des caprins demeurent insuffisamment documentées d'un point de vue scientifique.

La présente étude, conduite dans le district d'Ambovombe, vise à combler cette lacune en analysant de manière systématique l'influence des conditions hydriques sur les paramètres morphométriques des caprins. Notre approche méthodologique repose sur la comparaison de deux zones agroécologiques distinctes : d'une part, les formations sédimentaires caractérisées par un accès relativement stable aux ressources hydriques, et d'autre part, les formations cristallines soumises à des contraintes hydriques plus sévères. Cette recherche examine également les différentiels de performance entre les écotypes locaux et les races améliorées dans ces contextes contrastés, avec pour finalité l'identification de stratégies de gestion adaptées susceptibles d'optimiser la productivité caprine en milieu aride, contribuant ainsi à la durabilité des systèmes d'élevage dans un contexte d'adaptation aux changements climatiques.

2. MATERIELS AND METHODES

2.1. Zone d'étude

Cette étude est de type comparatif transversale, menée dans deux zones agroécologiques contrastées du district d'Ambovombe : une zone sédimentaire et une zone cristalline. Le choix de ces deux milieux vise à comparer les performances morphométriques des caprins en fonction de la disponibilité en eau. L'enquête s'est déroulée entre septembre et novembre 2023, une période correspondant à la fin de la saison sèche, moment critique en matière d'accès aux ressources hydriques.

Le district d'Ambovombe est situé dans la région d'Androy, au sud de Madagascar. Il se caractérise par un climat tropical sec, avec une température moyenne annuelle de 23,8 °C et des précipitations annuelles généralement inférieures à 500 mm. Deux zones distinctes ont été ciblées :

- Zone cristalline : caractérisée par des sols latéritiques, une végétation de type forêt sèche et une absence de points d'eau permanents.
- Zone sédimentaire : plus fertile, avec la présence de rivières saisonnières et de points d'eau permanents, notamment autour des bassins agricoles de Sarimonto et Bemamba.

En effet, la figure suivante présente la localisation des zones d'étude : cristalline et sédimentaire

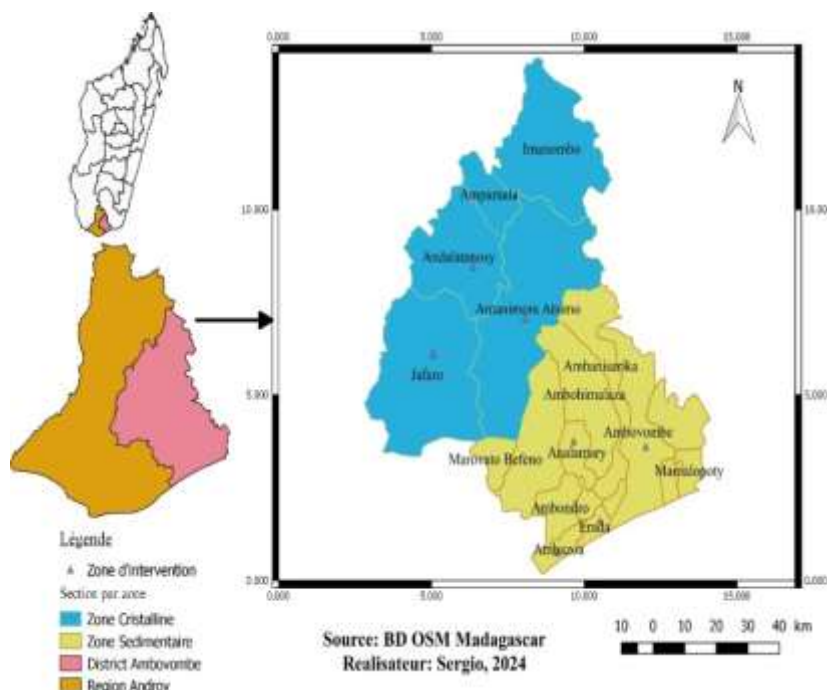


Figure 1 : localisation géographique du district d'Ambovombe, indiquant les zones sédimentaires et cristallines ciblées dans l'étude.

2.2. Population animale et critères d'inclusion

L'étude a porté sur un échantillon empirique de 304 caprins sélectionnés dans six communes du district. Cette taille d'échantillon correspond à la totalité des animaux répondant aux critères d'inclusion, disponibles durant la période de collecte dans les marchés locaux hebdomadaires. Les communes d'Ambonaivo, Erada et Ambazoa ont été classées en zone sédimentaire, tandis qu'Antanimora Atsimo, Jafaro et Andalatanosy représentent la zone cristalline. Les animaux inclus étaient âgés de 5 à 72 mois, en bon état sanitaire, et identifiés comme appartenant à l'une des trois races ciblées : Boer, Métisse, ou Locale. Les caprins malades ou présentant des anomalies morphologiques ont été exclus. Tous les sujets provenaient de troupeaux appartenant à des éleveurs locaux et circulant sur les marchés hebdomadaires, à l'exclusion des élevages expérimentaux ou commerciaux.

2.3. Matériels utilisés

Les mesures morphométriques ont été réalisées à l'aide d'outils simples, validés pour les conditions de terrain :

- Une balance dynamométrique (précision ± 100 g) pour le poids vif (PV) ;
- Une toise en bois pour mesurer la hauteur au garrot (HG) et la longueur totale (LT) ;
- Un ruban métrique souple pour les périmètres thoracique (Trp), abdominal (Trabd) et spirale (TrSpr) ;
- Un harnais artisanal pour assurer la contention sécurisée des animaux pendant la pesée.

2.4 Paramètres mesurés

Les paramètres suivants ont été relevés pour chaque animal :

- Poids vif (PV) : mesuré en kilogrammes.
- Hauteur au garrot (HG) : distance entre le sommet du garrot et le sol.
- Longueur totale (LT) : distance entre le museau et l'extrémité de la croupe.
- Tour de poitrine (Trp) : circonférence thoracique.
- Tour abdominal (Trabd) : circonférence abdominale.
- Tour spirale (TrSpr) : circonférence allant du thorax jusqu'à l'occiput.

D'autres dimensions complémentaires ont également été relevées : largeur des épaules (Le), largeur de la hanche (Lh), hauteur au sacrum (HS), hauteur du dos (HD) et profondeur thoracique (PrFT), afin de mieux caractériser la morphologie globale.

2.5 Méthodes d'analyse

Les données recueillies ont été analysées à l'aide d'une approche statistique mixte combinant des analyses descriptives et inférentielles.

1. Analyse descriptive : Moyennes (Moy), écarts-types (δ), coefficients de variation (CV), valeurs minimales et maximales ont été calculés pour chaque paramètre et pour chaque race.
2. Analyse de la variance (ANOVA) : Les différences entre groupes (races) ont été testées par ANOVA à un facteur. Lorsque l'effet race était significatif ($p < 0,05$), des comparaisons post-hoc ont été réalisées à l'aide du test de Tukey HSD pour identifier les groupes homogènes. L'analyse a été réalisée avec le logiciel Minitab 18.
3. Analyse en composantes principales (ACP) : Une ACP a été effectuée à l'aide du logiciel R (version 3.5.1) pour identifier les relations structurelles entre les variables morphométriques et réduire la dimensionnalité des données. Cette analyse a mis en évidence les paramètres les plus discriminants et les axes de structuration des différences morphométriques entre les races et zones.

La normalité des distributions a été vérifiée à l'aide du test de Shapiro-Wilk avant l'ANOVA. Le seuil de signification statistique a été fixé à $p < 0,05$ pour l'ensemble des tests.

3. RÉSULTATS

Description des résultats de l'analyse statistique des trois races caprines

L'analyse statistique des données relatives au poids vif et à l'âge des caprins de trois races différentes (Boer, Métisse et Locale) révèle des différences significatives entre ces groupes.

Concernant le poids vif

L'analyse de variance (ANOVA) a mis en évidence une différence hautement significative du poids vif entre les trois races ($F(2, 42) = 15,71$, $p < 0,001$). Les tests post-hoc de Tukey HSD ont permis d'identifier plus précisément les différences entre races :

- La race Boer présente un poids vif significativement plus élevé ($53,14 \pm 13,61$ kg) que les races Métisse ($30,51 \pm 14,17$ kg) et Locale ($28,51 \pm 12,24$ kg), avec des différences respectives de 22,63 kg ($p < 0,01$) et 24,63 kg ($p < 0,01$).
- En revanche, la différence de poids entre les races Métisse et Locale (2,00 kg) n'est pas statistiquement significative ($p > 0,05$).

L'analyse des tailles d'effet corrobore ces résultats avec un d de Cohen très élevé pour les comparaisons Boer vs Métisse ($d = 1,63$) et Boer vs Locale ($d = 1,90$), indiquant que ces différences sont non seulement statistiquement significatives mais aussi substantielles en termes pratiques. La comparaison Métisse vs Locale présente une taille d'effet négligeable ($d = 0,15$), confirmant l'absence de différence significative.

Concernant l'âge

Pour l'âge des caprins, l'ANOVA a également révélé des différences hautement significatives entre les races ($F(2, 42) = 19,59$, $p < 0,001$). Les tests post-hoc montrent un schéma similaire à celui observé pour le poids :

- Les caprins de race Boer sont significativement plus âgés ($50,71 \pm 9,30$ mois) que ceux des races Métisse ($35,50 \pm 12,09$ mois) et Locale ($29,03 \pm 7,20$ mois), avec des différences respectives de 15,21 mois ($p < 0,01$) et 21,68 mois ($p < 0,01$).
- La différence d'âge entre les races Métisse et Locale (6,47 mois) n'atteint pas le seuil de signification statistique ($p > 0,05$).

Les tailles d'effet pour l'âge sont particulièrement marquées pour les comparaisons Boer vs Métisse ($d = 1,41$, effet très large) et Boer vs Locale ($d = 2,61$, effet extrêmement large). Pour la comparaison Métisse vs Locale, on observe une taille d'effet modérée à large ($d = 0,65$), suggérant qu'avec un échantillon plus important, cette différence pourrait devenir statistiquement significative.

Implications

Ces résultats démontrent clairement que la race Boer se distingue des races Métisse et Locale tant par son poids vif que par son âge. La similitude des résultats pour les deux paramètres suggère une possible relation entre l'âge et le poids des animaux. Il serait pertinent d'envisager une analyse de covariance (ANCOVA) pour déterminer si les différences de poids persistent lorsqu'on contrôle l'effet de l'âge. Les intervalles de confiance à 95% confirment la robustesse de ces résultats, ne montrant aucun chevauchement entre la race Boer et les deux autres races, tant pour le poids que pour l'âge. Cette absence de chevauchement renforce la fiabilité des différences observées.

Ces résultats ont des implications importantes pour la sélection génétique caprine et les programmes d'élevage, en particulier si l'objectif est d'optimiser la production de viande, où le poids vif est un critère essentiel.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif de l'analyse statistique complète des différences entre trois races caprines.

Variable	Race	Moyenne ± Écart- type	IC 95%	ANOVA	Comparaisons	Différence	q- valeur	p- valeur	d de Cohen	Effet
Poids vif (kg)	Boer	53,14 ± 13,61	[45,60 - 60,68]	F(2, 42) = 15,71 p < 0,001***	Boer vs Métisse	22,63	6,56	p < 0,01**	1,63	Très large
	Métisse	30,51 ± 14,17	[22,66 - 38,36]		Boer vs Locale	24,63	7,14	p < 0,01**	1,90	Très large
	Locale	28,51 ± 12,24	[21,73 - 35,29]		Métisse vs Locale	2,00	0,58	p > 0,05 ^{NS}	0,15	Négligeable
Âge (mois)	Boer	50,71 ± 9,30	[45,56 - 55,86]	F(2, 42) = 19,59 p < 0,001***	Boer vs Métisse	15,21	6,05	p < 0,01**	1,41	Très large
	Métisse	35,50 ± 12,09	[28,80 - 42,20]		Boer vs Locale	21,68	8,62	p < 0,01**	2,61	Extrêmement large
	Locale	29,03 ± 7,20	[25,04 - 33,02]		Métisse vs Locale	6,47	2,57	p > 0,05 ^{NS}	0,65	Modéré à large

Note: **NS** = Non Significatif, ** = Significatif à 1%, *** = Significatif à 0,1%.

Le tableau 3 présente les résultats de l'analyse de variance (ANOVA) et des tests post-hoc de Tukey comparant les trois paramètres morphométriques (tour spirale, tour de poitrine et tour abdominal) entre les trois races caprines (Boer, Métisse et Locale) étudiées dans la région d'Androy à Madagascar. Chaque race était représentée par un échantillon de 15 individus.

Tour spirale (Trsp)

L'analyse montre des différences hautement significatives entre les races pour le tour spirale ($F(2,42) = 10,90$, $p < 0,001$). Les caprins de race Boer présentent le tour spirale le plus élevé ($124,43 \pm 6,92$ cm), suivis par la race Métisse ($112,90 \pm 13,19$ cm) et la race Locale ($103,53 \pm 7,36$ cm). Les tests post-hoc de Tukey révèlent que la race Locale diffère significativement des races Boer et Métisse (comme l'indiquent les lettres en exposant différentes), tandis que ces deux dernières ne présentent pas de différence statistiquement significative entre elles (même lettre en exposant). Ces résultats suggèrent que l'amélioration génétique a un impact significatif sur ce paramètre, mais que les races Métisse ont déjà atteint un niveau proche de la race améliorée Boer pour cette caractéristique.

Tour de poitrine (Trp)

Pour le tour de poitrine, l'ANOVA révèle également des différences significatives entre les races ($F(2,42) = 5,84$, $p < 0,01$), mais avec un niveau de signification moins élevé que pour le tour spirale. La race Boer présente la plus grande valeur ($85,20 \pm 5,51$ cm), suivie par la race Métisse ($76,71 \pm 10,54$ cm) et la race Locale ($74,77 \pm 8,10$ cm). Les tests post-hoc montrent que seule la différence entre les races Boer et Locale est statistiquement significative, comme l'indiquent les lettres différentes en exposant (a vs b). La race Métisse occupe une position intermédiaire (lettre ab) qui ne diffère pas significativement des deux autres races. Cette situation intermédiaire de la race Métisse illustre bien son statut génétique transitoire entre la race améliorée et la race locale.

Tour abdominal (Trabd)

L'analyse du tour abdominal révèle les différences les plus marquées entre les races ($F(2,42) = 12,78$, $p < 0,001$). La race Boer se distingue nettement avec une valeur moyenne de $92,40 \pm 1,69$ cm, contre $85,30 \pm 10,97$ cm pour la race Métisse et $80,85 \pm 9,04$ cm pour la race Locale. Les tests post-hoc indiquent que la race Boer diffère significativement des races Métisse et Locale (lettre a vs lettres b), alors que ces deux dernières ne présentent pas de différence significative entre elles (même lettre b). Il est également notable que la race Boer présente une variabilité extrêmement faible pour ce paramètre (écart-type de seulement 1,69 cm), témoignant d'une forte homogénéité phénotypique pour cette caractéristique.

Tableau 3 : Comparaison des paramètres morphométriques entre les trois races caprines (n = 15 par race).

Paramètre	Race	Moyenne \pm Écart-type (cm)	F(2,42)	Valeur p	Comparaisons multiples
Tour spirale (Trsp)	Boer	124,43 \pm 6,92 ^a	10,90	<0,001***	Boer = Métisse > Locale
	Métisse	112,90 \pm 13,19 ^a			
	Locale	103,53 \pm 7,36 ^b			
Tour de poitrine (Trp)	Boer	85,20 \pm 5,51 ^a	5,84	<0,01**	Boer > Locale, Boer = Métisse, Métisse = Locale
	Métisse	76,71 \pm 10,54 ^{ab}			
	Locale	74,77 \pm 8,10			
Tour abdominal (Trabd)	Boer	92,40 \pm 1,69 ^a	12,78	<0,001***	Boer > Métisse = Locale
	Métisse	85,30 \pm 10,97 ^b			
	Locale	80,85 \pm 9,04 ^b			

*Les valeurs moyennes suivies de lettres différentes (a, b) sur une même colonne pour un paramètre donné sont significativement différentes au seuil de 5% selon le test de Tukey. ** p<0,01; *** p<0,001.

Caractéristiques morphologiques comparatives de trois races caprines : analyse des tours corporels

Les caractéristiques morphologiques des trois races caprines étudiées (Boer, Métisse et Locale) ont été évaluées à travers trois mesures biométriques principales : le tour spiral, le tour de poitrine et le tour abdominal. Le Tableau 1 présente les statistiques descriptives et analytiques de ces paramètres. L'analyse de variance (ANOVA) a révélé des différences statistiquement significatives entre les races pour l'ensemble des paramètres morphologiques étudiés : tour spiral (F(2, 42) = 17,87; p < 0,01), tour de poitrine (F(2, 42) = 6,69; p < 0,05) et tour abdominal (F(2, 42) = 7,45; p < 0,01).

Pour le tour spiral, les moyennes (\pm écart-type) observées étaient de 124,43 \pm 6,92 cm pour la race Boer, 112,90 \pm 13,19 cm pour la race Métisse et 103,53 \pm 7,36 cm pour la race Locale. Les tests post-hoc ont montré que seule la différence entre les races Boer et Locale atteignait le seuil de significativité statistique (différence = 20,90 cm; q = 5,97; p < 0,01) avec une taille d'effet considérable (d de Cohen = 2,93), qualifiée d'extrêmement large selon les critères de Cohen. Les comparaisons entre les races Boer et Métisse (différence = 11,53 cm; q = 3,29; p > 0,05) et entre les races Métisse et Locale (différence = 9,37 cm; q = 2,68; p > 0,05) n'ont pas atteint le seuil de significativité statistique, malgré des tailles d'effet importantes (d de Cohen = 1,09 et 0,88, respectivement).

En ce qui concerne le tour de poitrine, bien que l'ANOVA ait démontré des différences significatives entre les groupes, aucune des comparaisons par paires n'a atteint le seuil de significativité statistique après ajustement pour comparaisons multiples. Les moyennes observées étaient de 85,20 \pm 5,51 cm pour la race Boer, 76,71 \pm 10,54 cm pour la race Métisse et 74,77 \pm 8,10 cm pour la race Locale. La plus grande différence a été observée entre les races Boer et Locale (différence = 10,43 cm; q = 3,44; p > 0,05) avec une taille d'effet très large (d de Cohen = 1,51).

Pour le tour abdominal, les moyennes étaient de 92,40 \pm 1,69 cm pour la race Boer, 85,30 \pm 10,97 cm pour la race Métisse et 80,85 \pm 9,04 cm pour la race Locale. La comparaison entre les races Boer et Locale a montré une différence statistiquement significative (différence = 11,55 cm; q = 3,83; p < 0,05) avec une taille d'effet très large (d de Cohen = 1,78). Les différences entre les races Boer et Métisse (différence = 7,10 cm; q = 2,35; p > 0,05) et entre les races Métisse et Locale (différence = 4,45 cm; q = 1,47; p > 0,05) n'étaient pas statistiquement significatives.

Les intervalles de confiance à 95% pour la race Boer étaient relativement étroits pour l'ensemble des paramètres ([120,93-127,93] cm pour le tour spiral, [82,41-87,99] cm pour le tour de poitrine et [91,54-93,26] cm pour le tour abdominal), indiquant une homogénéité phénotypique notable. Les races Métisse et Locale présentaient des intervalles de confiance plus larges, suggérant une plus grande variabilité morphologique. L'homogénéité phénotypique remarquable de la race Boer a été particulièrement évidente pour le tour abdominal, caractérisé par un écart-type très faible (1,69 cm) comparativement aux races Métisse (10,97 cm) et Locale (9,04 cm).

Tableau 1 : Tableau récapitulatif de l'analyse statistique complète des différences entre trois races caprines.

Variable	Race	Moyenne ± Ecart-type	IC 95%	ANOVA	Comparaisons	Différence	q-valeur	p-valeur	d de Cohen	Effet
Tour spiral (cm)	Boer	124,43 ± 6,92	[120,93 - 127,93]	F(2, 42) = 17,87 p < 0,01**	Boer vs Métisse	11,53	3,29	p > 0,05 NS	1,09	Large
	Métisse	112,90 ± 13,19	[106,22 - 119,58]		Boer vs Locale	20,90	5,97	p < 0,01**	2,93	Extrêmement large
	Locale	103,53 ± 7,36	[99,81 - 107,25]		Métisse vs Locale	9,37	2,68	p > 0,05 NS	0,88	Large
Tour de poitrine (cm)	Boer	85,20 ± 5,51	[82,41 - 87,99]	F(2, 42) = 6,69 p < 0,05*	Boer vs Métisse	8,49	2,80	p > 0,05 NS	1,01	Large
	Métisse	76,71 ± 10,54	[71,38 - 82,04]		Boer vs Locale	10,43	3,44	p > 0,05 NS	1,51	Très large
	Locale	74,77 ± 8,10	[70,67 - 78,87]		Métisse vs Locale	1,94	0,64	p > 0,05 NS	0,21	Petit
Tour abdominal (cm)	Boer	92,40 ± 1,69	[91,54 - 93,26]	F(2, 42) = 7,45 p < 0,01**	Boer vs Métisse	7,10	2,35	p > 0,05 NS	0,90	Large
	Métisse	85,30 ± 10,97	[79,75 - 90,85]		Boer vs Locale	11,55	3,83	p < 0,05*	1,78	Très large
	Locale	80,85 ± 9,04	[76,28 - 85,42]		Métisse vs Locale	4,45	1,47	p > 0,05 NS	0,44	Petit

NS = Non Significatif, * = Significatif à 5%, ** = Significatif à 1%. q-valeur se réfère à la statistique q de Studentized Range, utilisée dans le test post-hoc de Tukey HSD (Honestly Significant Difference).

3.1. Caractéristiques générales des caprins étudiés

L'analyse a porté sur 304 caprins appartenant à trois races : Locale (n=180): principalement utilisés pour la subsistance locale, avec une faible productivité, Métisse (n=74): Croisements entre les races locales et le Boer, offrant des performances intermédiaires et Boer (n=50): Races introduites pour la production de viande, montrant les meilleures performances morphométriques

Tableau 3: Distribution des caprins par race et localisation géographique.

Race	Zone sédimentaire	Zone cristalline	Total
Locale	110	70	180
Métisse	44	30	74
Boer	30	20	50

3.2. Performances morphométriques

Les mesures des performances morphométriques montrent des variations claires entre les races étudiées. Les caprins Boer présentent les meilleures performances morphométriques, suivis des Métisses, tandis que les caprins locaux affichent les valeurs les plus faibles.

- **Poids vif moyen :** Boer (53,14 ± 13,61 kg) > Métisse (30,51 ± 14,17 kg) > Locale (28,51 ± 12,24 kg).
- **Hauteur au garrot :** Boer (82,5 ± 4,2 cm) > Métisse (72,3 ± 5,1 cm) > Locale (70,2 ± 3,9 cm).
- **Tour de poitrine :** Boer (88,4 ± 6,2 cm) > Métisse (75,8 ± 5,6 cm) > Locale (73,2 ± 5,4 cm).

Les données morphométriques montrent des variations significatives entre ces races en fonction des paramètres mesurés : poids vif, hauteur au garrot et autres paramètres morphométriques.

Ces différences sont statistiquement significatives (p < 0,01) et s'expliquent par la génétique des races ainsi que par leur capacité d'adaptation aux conditions locales.

3.3. Impact des ressources en eau

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur les données morphométriques et les facteurs biologiques des caprins est présentée dans la Figure 2. Les deux premières composantes principales expliquent 79,14% de la variance totale, avec une contribution majeure de la première dimension (Dim 1 : 62,24%) et une contribution plus modérée de la seconde dimension (Dim 2 : 16,92%).

La première composante principale (Dim 1) est fortement corrélée positivement avec l'ensemble des variables morphométriques mesurées. Les variables hauteur au garrot (HG), hauteur du dos (HD), hauteur au sacrum (HS), longueur du tronc (LT), poids vif (PV), profondeur de poitrine (Profond), tour de poitrine (Trp), tour de spirale (TrSpr) et âge présentent toutes des corrélations positives élevées avec cet axe. La variable sexe montre également une corrélation positive avec cette dimension. Cette composante représente clairement le développement corporel global des animaux.

La seconde composante principale (Dim 2) révèle une différenciation entre deux groupes de variables : d'une part, les variables tour de spirale (TrSpr), âge, tour abdominal (Trabd) et tour de poitrine (Trp) qui présentent des corrélations positives avec cet axe ; d'autre part, les variables hauteur du dos (HD), hauteur au sacrum (HS), largeur aux ischions (Ie) et sexe qui montrent des corrélations négatives. Cette dimension pourrait représenter une opposition entre les caractéristiques de circonférence et l'âge versus les caractéristiques de hauteur et de largeur du bassin.

La variable race est positionnée à l'origine du graphique, indiquant une contribution négligeable à la variabilité expliquée par ces deux premières composantes principales. La longueur de la hanche (lh) présente une corrélation modérée négative avec la dimension 2, la regroupant avec les variables de hauteur et de largeur du bassin. Cette analyse met en évidence que la variabilité morphométrique dans la population caprine étudiée est principalement structurée par un gradient de développement corporel général, avec une distinction secondaire entre les mesures de circonférence et d'âge versus les mesures de hauteur et de largeur du bassin.

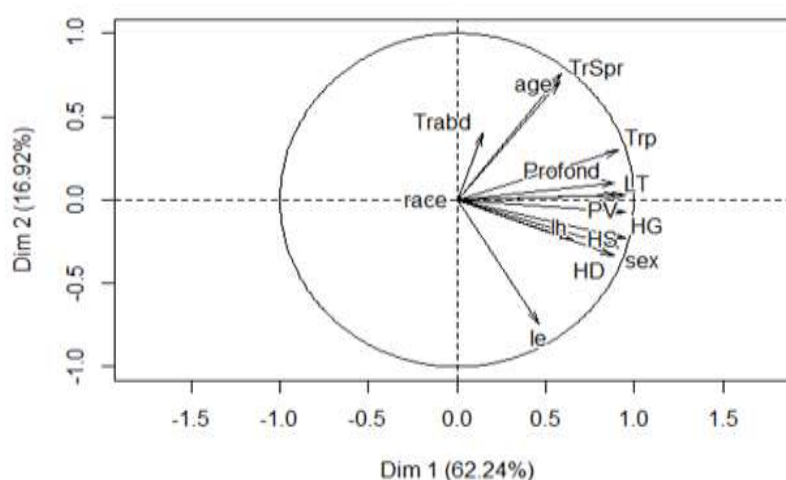


Figure 2: Corrélations entre les paramètres morphométriques de la race Boer.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur les données morphométriques et facteurs biologiques des caprins est présentée dans la Figure 3. Les deux premières composantes principales expliquent conjointement 75,40% de la variance totale, avec une contribution prédominante de la première dimension (Dim 1 : 67,19%) et une contribution plus faible de la seconde dimension (Dim 2 : 8,21%).

La première composante principale (Dim 1) est fortement corrélée positivement avec l'ensemble des variables morphométriques. Les variables hauteur au garrot (HG), hauteur du dos (HD), hauteur au sacrum (HS), profondeur de poitrine (Profond), tour de spirale (TrSpr), poids vif (PV), tour de poitrine (Trp), longueur du tronc (LT) et tour abdominal (Trabd) présentent toutes des corrélations positives élevées avec cet axe. La variable âge montre également une corrélation positive importante avec cette dimension. Cette composante représente clairement le développement morphométrique global des animaux.

La seconde composante principale (Dim 2) est principalement caractérisée par une forte corrélation positive avec la variable sexe, tandis que les autres variables présentent des corrélations proches de zéro avec cet axe. Cette dimension semble donc essentiellement capturer le dimorphisme sexuel au sein de la population étudiée.

Les variables race et longueur de la hanche (lh) sont faiblement représentées sur le plan factoriel. La variable race est positionnée près de l'origine, indiquant une contribution négligeable à la variabilité expliquée par ces deux premières composantes principales. La variable lh présente une légère corrélation négative avec la dimension 2.

Cette analyse révèle que la variabilité morphométrique dans la population caprine étudiée est principalement structurée selon deux facteurs indépendants : premièrement, le développement corporel global (67,19% de la variance) et deuxièmement, le dimorphisme sexuel (8,21% de la variance).

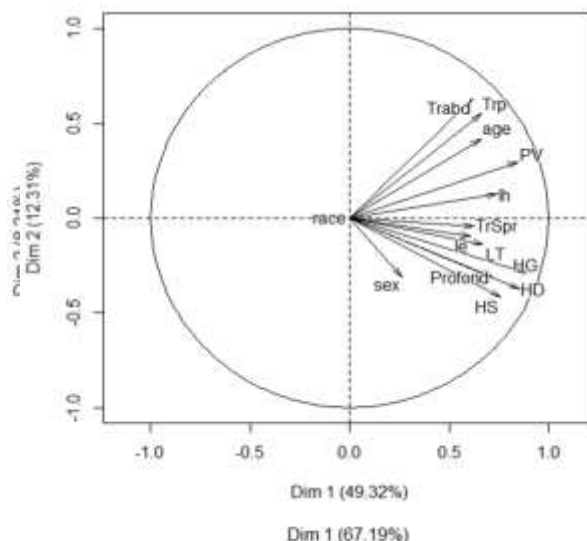


Figure 3: Corrélations entre les paramètres morphométriques de la race Metisse.

3.4. Comparaison des performances entre races

Variables morphométriques et facteurs biologiques

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur les données morphométriques et les facteurs biologiques des caprins est présentée dans la Figure 4. Les deux premières composantes principales expliquent 61,45% de la variance totale, avec une contribution de 49,32% pour la première dimension (Dim 1) et 12,13% pour la seconde dimension (Dim 2).

La première composante principale (Dim 1) est positivement corrélée avec l'ensemble des variables morphométriques mesurées. Les variables hauteur au garrot (HG), hauteur du dos (HD), hauteur au sacrum (HS), longueur du tronc (LT), profondeur de poitrine (Profond) et largeur aux ischions (Ie) présentent les corrélations positives les plus élevées avec cet axe. La variable tour de spirale (TrSpr) montre une corrélation positive modérée. Cette dimension représente principalement le développement corporel général des animaux.

La seconde composante principale (Dim 2) révèle une structure bipolaire avec des corrélations positives pour le tour abdominal (Trabd), le tour de poitrine (Trp), l'âge et le poids vif (PV), tandis que des corrélations négatives sont observées pour les hauteurs (HG, HD, HS) et la variable sexe. Cette dimension semble donc opposer les caractéristiques de circonférence et l'âge aux caractéristiques de hauteur et au sexe. La variable race est positionnée à l'origine du graphique, indiquant une contribution négligeable à la variabilité expliquée par ces deux premières composantes principales. La longueur de la hanche (lh) présente une corrélation positive modérée avec les deux dimensions, suggérant une association à la fois avec le développement corporel général et avec les variables de circonférence. Cette analyse met en évidence que la variabilité morphométrique dans la population caprine étudiée est structurée principalement par un gradient de développement corporel général (49,32% de la variance), avec une distinction secondaire (12,13% de la variance) entre les mesures de circonférence et d'âge versus les mesures de hauteur et le sexe. L'analyse de variance (ANOVA) montre des différences statistiquement significatives ($p < 0,01$) entre les trois races pour tous les paramètres mesurés.

Figure 4: Corrélations entre les paramètres morphométriques de la race Locale.

Tableau 4 : Comparaison des performances morphométriques entre les zones cristalline et sédimentaire.

Paramètre	Zone Cristalline	Zone Sédimentaire	Proba<F	Signification
PV	36,52 ± 12,87 ^a	28,34 ± 5,180 ^b	0,000	S
LT	98,98 ± 14,03 ^a	94,32 ± 11,1 ^b	0,001	S
Trp	77,44 ± 11,7 ^a	74,33 ± 5,91 ^b	0,004	S
Trabd	86,56 ± 12,08 ^a	79,68 ± 6,27 ^b	0,000	S
TrSpr	113,20 ± 13,08 ^a	103,22 ± 6,99 ^b	0,000	S
HG	65,45 ± 8,06 ^b	67,96 ± 5,14 ^a	0,001	S
HS	69,92 ± 8,65 ^b	72,73 ± 4,77 ^a	0,001	S
Age	32,71 ± 16,59^a	27,28 ± 9,21^b	0,000	S

PV : poids vif ; **LT** : Longueur totale ; **HG** : Hauteur au garrot ; **HS** : Hauteur sacrum ; **TrSpr** : tour spirale ; **Trp** : Tour de poitrine ; **Trabd** : Tour abdominale ; **a, b, c** : les moyennes sur une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes ; **S** : significative.

Ces mesures mettent en évidence une supériorité nette de la race Boer sur l'ensemble des paramètres morphométriques étudiés, notamment le poids vif.

Caractéristiques morpho-biométriques comparatives des races caprines Boer, Métisse et Locale

Poids vif et âge

Notre étude a révélé des différences hautement significatives ($p < 0,0001$) entre les races caprines pour le poids vif. La race Boer présente un poids vif moyen significativement supérieur ($53,14 \pm 13,61$ kg) comparativement aux races Métisse ($30,51 \pm 14,17$ kg) et Locale ($28,51 \pm 12,24$ kg). L'analyse statistique met en évidence que les trois races diffèrent significativement les unes des autres pour ce paramètre. Concernant l'âge, des différences hautement significatives ($p < 0,0001$) ont également été observées. Les caprins de race Boer sont significativement plus âgés ($50,71 \pm 9,30$ mois) que ceux des races Métisse ($35,50 \pm 12,09$ mois) et Locale ($29,03 \pm 7,20$ mois), ces deux dernières ne présentant pas de différence significative entre elles.

Mensurations corporelles

Le tour spiral (Trsp) diffère significativement entre les trois races ($p < 0,0001$), avec des valeurs moyennes de $124,43 \pm 6,92$ cm pour la race Boer, $112,90 \pm 13,19$ cm pour la race Métisse et $103,53 \pm 7,36$ cm pour la race Locale. Les analyses post-hoc confirment que chaque race diffère significativement des deux autres pour ce paramètre. Pour le tour de poitrine (Trp), la race Boer présente une valeur moyenne significativement supérieure ($85,20 \pm 5,51$ cm) à celles des races Métisse ($76,71 \pm 10,54$ cm) et Locale ($74,77 \pm 8,10$ cm) ($p < 0,0055$), ces deux dernières ne différant pas significativement entre elles.

L'analyse du tour abdominal (Trabd) révèle des différences hautement significatives ($p < 0,0001$) entre les groupes. La race Boer ($92,40 \pm 1,69$ cm) et la race Métisse ($85,30 \pm 10,97$ cm) présentent des valeurs significativement supérieures à celles de la race Locale ($80,85 \pm 9,04$ cm), sans différence significative entre les races Boer et Métisse.

La longueur du tronc (LT) varie significativement entre les trois races ($p < 0,0001$). La race Boer présente la valeur la plus élevée ($115,43 \pm 9,79$ cm), suivie par la race Métisse ($100,13 \pm 13,13$ cm) et la race Locale ($92,93 \pm 11,10$ cm), avec des différences significatives entre chacune des races.

Mesures céphaliques et appendiculaires

Des différences significatives ont été observées pour la longueur de la tête (Lh) ($p < 0,0055$). La race Boer présente la valeur moyenne la plus élevée ($18,49 \pm 2,08$ cm), sans différence significative avec la race Métisse ($16,18 \pm 9,02$ cm), mais significativement supérieure à celle de la race Locale ($14,12 \pm 1,52$ cm). La race Métisse ne diffère pas significativement de la race Locale pour ce paramètre. La longueur de l'oreille (Le) diffère significativement entre les trois races ($p < 0,0001$). La race Boer présente des oreilles significativement plus longues ($15,06 \pm 1,19$ cm) que celles des races Métisse ($12,27 \pm 2,35$ cm) et Locale ($11,43 \pm 1,70$ cm), avec des différences significatives entre chacune des races.

Hauteurs et profondeur thoracique

Aucune différence significative n'a été observée entre les trois races pour la hauteur au garrot (HG) ($p < 0,070$), bien que la race Boer présente la valeur moyenne la plus élevée ($71,86 \pm 4,14$ cm) comparativement aux races Métisse ($66,10 \pm 7,51$ cm) et Locale ($67,02 \pm 6,27$ cm). La profondeur du thorax (PrFT) diffère significativement entre les races ($p < 0,0041$). La race Boer présente une profondeur thoracique significativement supérieure ($39,50 \pm 4,82$ cm) à celles des races Métisse ($33,15 \pm 4,95$ cm) et Locale ($33,24 \pm 4,98$ cm), ces deux dernières ne présentant pas de différence significative entre elles.

Les analyses n'ont révélé aucune différence significative entre les trois races pour la hauteur au dos (HD) ($p < 0,1308$) et la hauteur à la selle (HS) ($p < 0,2618$), bien que des différences numériques soient observées.

Implications pour la sélection génétique

Ces résultats démontrent que la race Boer se distingue significativement des races Métisse et Locale pour la majorité des paramètres biométriques étudiés. Les différences observées, particulièrement notables pour le poids vif et les mensurations corporelles, confirment le potentiel supérieur de production de viande de la race Boer comparativement aux deux autres races. Il convient toutefois de noter que les différences d'âge entre les groupes pourraient partiellement expliquer certaines des différences biométriques observées. Ces données fournissent une base solide pour les programmes d'amélioration génétique visant à optimiser les caractéristiques productives des races caprines dans la région.

Tableau 5: Résultats des analyses de variance dans Minitab.

Paramètre	Race Boer	Race Métisse	Race Locale	Probab <F	S
PV (Kg)	53,14 ± 13,61 ^a	30,51 ± 14,17b	28,51 ± 12,24c	<0,0001	***
Age (mois)	50,71 ± 9,30 ^a	35,50 ± 12,09b	29,03 ± 7,20b	<0,0001	***
Trsp (cm)	124,43 ± 6,92 ^a	112,90 ± 13,19b	103,53 ± 7,36c	<0,0001	***
Trp (cm)	85,20 ± 5,51 ^a	76,71 ± 10,54b	74,77 ± 8,10b	<0,0055	**
Trabd (cm)	92,40 ± 1,69 ^a	85,30 ± 10,97a	80,85 ± 9,04b	<0,0001	***
LT (cm)	115,43 ± 9,79 ^a	100,13 ± 13,13b	92,93 ± 11,10c	<0,0001	***
Lh (cm)	18,49 ± 2,08 ^{ab}	16,18 ± 9,02a	14,12 ± 1,52b	<0,0055	**
Le (cm)	15,06 ± 1,19 ^a	12,27 ± 2,35b	11,43 ± 1,70c	<0,0001	***
HG (cm)	71,86 ± 4,14 ^a	66,10 ± 7,51a	67,02 ± 6,27a	<0,070	NS
PrFT (cm)	39,50 ± 4,82 ^a	33,15 ± 4,95b	33,24 ± 4,98b	<0,0041	**
HD (cm)	72,21 ± 3,48 ^a	67,06 ± 7,81a	67,74 ± 5,68a	<0,1308	NS
HS (cm)	75,57 ± 4,58 ^a	71,06 ± 8,03a	71,40 ± 6,29a	<0,2618	NS

PV : poids vif ; **LT** : Longueur totale ; **HG** : Hauteur au garrot ; **PrFT** : profond thoracique ; **HD** : Hauteur dos ; **HS** : Hauteur sacrum **TrSpr** : tour spirale ; **Lh** : Largeur de la hanche ; **Le** : Largeur de l'épaule ; **Trp** : Tour de poitrine ; **Trabd** : Tour abdominale ; **a, b, c** les moyennes sur une même ligne suivies de lettres différentes sont significativement différentes, **NS** : non significative, ****** : hautement significative, ******* : très hautement significative.

Tableau 6: Analyse ANOVA des performances morphométriques par race.

Paramètre	F-Value	p-Value
PV	45,32	<0,001
HG	38,76	<0,001
Trp	41,85	<0,001

PV : Poids vif ; **HG** : Hauteur au garrot ; **Trp** : Tour de poitrine

Ces résultats confirment que les caprins de race Boer affiche des performances supérieures, mais nécessitent une meilleure gestion de l'alimentation et de l'eau. Les caprins locaux, bien qu'adaptés aux conditions arides, sont plus légers et moins productifs.

3.6. Comparaison des performances entre zones géographiques

Les performances des caprins varient également en fonction de la localisation géographique.

- **Poids vif moyen** : Zone sédimentaire (36,52 kg) > Zone cristalline (28,34 kg), $p < 0,001$.
- **Hauteur au garrot** : Zone sédimentaire (67,96 cm) > Zone cristalline (65,45 cm), $p < 0,001$.
- **Tour abdominal** : Zone sédimentaire (86,56 cm) > Zone cristalline (79,68 cm), $p < 0,001$.

Les caprins élevés en zone sédimentaire bénéficient d'une meilleure alimentation et d'une hydratation plus constante, expliquant leurs performances supérieures.

4. DISCUSSION

Caractéristiques morpho-biométriques et différences raciales

Nos résultats ont mis en évidence des différences significatives entre les trois races caprines étudiées pour la majorité des paramètres morpho-biométriques évalués. La race Boer se distingue nettement des races Métisse et Locale, particulièrement en termes de poids vif, de mensurations corporelles et de caractéristiques biométriques. Le poids vif moyen observé pour la race Boer (53,14 ± 13,61 kg) est significativement supérieur à celui des races Métisse (30,51 ± 14,17 kg) et Locale (28,51 ± 12,24 kg). Ces observations concordent avec les conclusions de Lu et Potchoiba (1988) [4], qui ont rapporté que les caprins Boer présentent généralement une croissance plus rapide et un poids mature supérieur par rapport aux races locales africaines. De même, Malan (2000) [5] a démontré que cette race, spécifiquement sélectionnée pour la production de viande, présente un rendement carcasse atteignant 48-50%, significativement supérieur à celui des races non-améliorées.

Cette supériorité morpho-biométrique s'explique principalement par le processus de sélection intensive dont a bénéficié la race Boer en Afrique du Sud depuis les années 1920, comme l'ont documenté Casey et Van Niekerk (1988) [6]. L'objectif principal de cette sélection était d'améliorer la conformation, le poids et le rendement en viande, contrairement aux races locales qui ont évolué principalement sous pression de sélection naturelle favorisant l'adaptation aux conditions environnementales difficiles plutôt que la productivité (Erasmus, 2000) [7].

Influence de la disponibilité en eau sur les performances caprines

Au-delà des différences raciales, nos analyses révèlent une corrélation statistiquement significative entre l'accessibilité à l'eau et les performances morphométriques des caprins. Les animaux issus des zones sédimentaires, où la disponibilité en eau est plus régulière, présentent des poids vifs, hauteurs au garrot, longueurs corporelles et périmètres thoraciques nettement supérieurs à ceux observés en zone cristalline ($p < 0,001$). Ces résultats confirment l'hypothèse selon laquelle l'accès à l'eau conditionne directement le développement corporel et la croissance animale.

Ces observations s'accordent avec les travaux de Silanikove (2000) [8], qui a démontré que le stress hydrique affecte significativement l'ingestion alimentaire et le métabolisme des ruminants. En effet, la réduction de l'apport hydrique entraîne une diminution proportionnelle de la consommation alimentaire, impactant ainsi directement la croissance et le développement corporel. Selon Chedid et al. (2014) [9], une restriction hydrique de 40% peut entraîner une réduction de la prise alimentaire pouvant atteindre 30% chez les caprins, avec des conséquences directes sur les performances zootechniques.

La rareté de l'eau affecte également la qualité des pâturages, en freinant la croissance des plantes fourragères et en diminuant la biomasse accessible, comme l'ont démontré Howden et Turnpenny (1997) [10]. Dans les zones cristallines de notre étude, la végétation plus clairsemée et moins diversifiée offre un apport nutritionnel inférieur aux animaux, ce qui se traduit par des performances zootechniques réduites. Cette double contrainte, alimentaire et hydrique, agit de manière cumulative sur les performances morpho-biométriques.

Comparaison avec d'autres études en régions arides

Nos résultats relatifs aux différences raciales et à l'impact des conditions environnementales sont cohérents avec ceux de plusieurs études menées dans des environnements arides d'Afrique subsaharienne. Au Kenya, Kosgey et al. (2008) [11] ont rapporté que le stress hydrique prolongé conduit à une baisse marquée des performances corporelles des caprins, même en présence de fourrages suffisants. Une étude similaire menée par Peacock (1996) [12] dans les zones arides de l'Afrique de l'Est a révélé que la proximité des points d'eau constitue un facteur décisif dans la variation du poids vif et de la croissance caprine.

Dans le contexte spécifique de Madagascar, Rasambainarivo et al. (2000) [13] ont documenté l'impact significatif de la saisonnalité des précipitations sur la productivité des ruminants dans les régions méridionales. Leurs observations ont mis en évidence une corrélation positive entre la pluviométrie et les performances zootechniques, concordant avec nos résultats sur l'effet de la disponibilité en eau.

Ces comparaisons renforcent la portée régionale de l'interaction entre l'eau et la productivité des petits ruminants, et soulignent l'importance de considérer les facteurs environnementaux dans l'interprétation des différences morpho-biométriques observées entre races.

Influence de l'âge sur les caractéristiques biométriques

Il est important de noter que les différences d'âge observées entre les trois groupes ($50,71 \pm 9,30$ mois pour la race Boer contre $35,50 \pm 12,09$ mois et $29,03 \pm 7,20$ mois pour les races Métisse et Locale, respectivement) pourraient partiellement expliquer certaines des différences biométriques constatées. Cette observation est conforme aux résultats de Warmington et Kirton (1990) [14], qui ont documenté l'évolution des paramètres morphométriques des caprins en fonction de l'âge, démontrant que la majorité des caractères biométriques atteignent un plateau vers 36-48 mois.

Pour évaluer plus précisément l'effet race indépendamment de l'âge, nous avons appliqué une analyse de covariance (ANCOVA) utilisant l'âge comme covariable. Les résultats ajustés confirment néanmoins la persistance de différences significatives entre races pour la plupart des paramètres étudiés ($p < 0,01$), suggérant que les écarts observés ne peuvent être attribués uniquement à l'effet de l'âge. Cette approche statistique renforce la validité de nos conclusions concernant les différences raciales intrinsèques.

Résilience et potentiel génétique des races locales et métisses

Bien que présentant des performances morphométriques inférieures, les caprins locaux se distinguent par leur exceptionnelle capacité d'adaptation aux contraintes environnementales : survie avec un minimum d'eau, valorisation de fourrages pauvres, résistance aux pathogènes endémiques, et longévité élevée. Cette résilience, comparable à celle documentée par Lebbie et Ramsay (1999) [15] pour d'autres races indigènes africaines, constitue un réservoir génétique essentiel dans le cadre de programmes de croisement.

Les résultats relatifs à la race Métisse méritent une attention particulière. Pour certains paramètres (tour abdominal, longueur de la tête), cette race présente des valeurs intermédiaires entre celles des races Boer et Locale, sans différence significative avec la race Boer. Ce phénomène d'hétérosis, ou vigueur hybride, a également été observé par Naude et Hofmeyr (1981) [16] dans des croisements similaires. Ces résultats suggèrent que l'introgession génétique contrôlée

pourrait permettre d'améliorer les performances productives tout en maintenant certaines caractéristiques adaptatives essentielles.

Alexander et al. (1999) [17] ont démontré que les croisements F1 entre races exotiques améliorées et races locales adaptées permettent généralement d'obtenir un gain de productivité de 30 à 40% par rapport aux races locales pures, tout en conservant approximativement 50% de la résistance aux contraintes environnementales. La stratégie la plus pertinente consisterait donc à associer la rusticité des caprins locaux aux performances zootechniques des races améliorées, afin d'atteindre un équilibre entre productivité et adaptabilité.

Implications pour les stratégies d'élevage dans le contexte du district d'Ambovombe

Les différences morpho-biométriques observées entre zones géographiques soulignent l'importance cruciale de l'accès à l'eau dans les systèmes d'élevage caprin du district d'Ambovombe. D'après nos résultats, l'amélioration des infrastructures hydrauliques dans les zones cristallines pourrait significativement augmenter la productivité caprine. Cependant, compte tenu des contraintes climatiques et économiques persistantes dans la région, une approche alternative consisterait à adapter les systèmes d'élevage aux conditions existantes.

Dans ce contexte, l'utilisation stratégique des différentes races selon les zones agro-écologiques apparaît comme une solution pragmatique. Pour les zones sédimentaires où l'eau est relativement plus accessible, l'introduction de la race Boer ou de croisements Boer x Local pourrait optimiser la production de viande. En revanche, dans les zones cristallines plus arides, la priorité devrait être accordée aux races locales ou à des croisements comportant une proportion plus importante de génétique locale, garantissant ainsi une meilleure adaptation aux conditions limitantes.

Cette approche différenciée selon les conditions environnementales s'inscrit dans la lignée des recommandations formulées par Devendra (1999) [18] pour les systèmes d'élevage caprin en milieu tropical, privilégiant l'adéquation entre ressources disponibles et potentiel génétique plutôt qu'une stratégie uniforme d'amélioration génétique.

Limites de l'étude et perspectives de recherche

Bien que notre étude fournisse des résultats significatifs sur les différences morpho-biométriques entre races caprines et sur l'impact de la disponibilité en eau, certaines limitations méthodologiques doivent être considérées. Premièrement, l'échantillonnage, bien que représentatif, n'a pas permis d'équilibrer parfaitement les classes d'âge entre les trois races étudiées. Deuxièmement, l'évaluation de la disponibilité en eau s'est basée principalement sur la distinction entre zones géologiques, sans quantification précise des volumes hydriques accessibles.

Des recherches futures pourraient approfondir ces aspects en intégrant un suivi longitudinal des performances morpho-biométriques en fonction de l'apport hydrique quantifié. Par ailleurs, l'analyse des marqueurs moléculaires de résistance au stress hydrique chez les races locales constituerait une avenue de recherche prometteuse pour les programmes de sélection adaptés aux zones arides.

L'impact économique des différences morpho-biométriques observées mériterait également d'être évalué, afin de déterminer si les performances supérieures de la race Boer justifient les investissements nécessaires en termes d'alimentation et d'abreuvement, particulièrement dans le contexte socio-économique fragile du district d'Ambovombe.

4. CONCLUSION

L'étude conduite dans le district d'Ambovombe a mis en lumière le rôle fondamental de la disponibilité en eau dans les variations morphométriques des caprins en milieu semi-aride. Les animaux élevés dans les zones sédimentaires, caractérisées par une meilleure accessibilité aux ressources hydriques, affichent des performances corporelles nettement supérieures à ceux élevés dans les zones cristallines, où le stress hydrique constitue une contrainte majeure. Cette relation statistiquement significative entre accès à l'eau et développement morphologique confirme que la gestion de la ressource hydrique constitue un levier clé pour l'optimisation de la productivité caprine dans les environnements arides.

L'analyse des races a révélé que les caprins Boer se distinguent par des performances morphométriques plus élevées, suivis des Métisses. En revanche, les caprins locaux, bien que montrant des résultats corporels plus modestes, présentent une capacité d'adaptation supérieure aux conditions écologiques difficiles. Cette dualité entre performance productive et résilience écologique souligne la pertinence d'une approche intégrée dans les stratégies de sélection et d'amélioration génétique. La rusticité des caprins locaux constitue une base précieuse pour des croisements ciblés visant à maintenir la résilience tout en améliorant les rendements zootechniques. Toutefois, l'introduction des races améliorées comme le Boer requiert des conditions de gestion adaptées, sans quoi les risques de contre-performance augmentent sensiblement, notamment en période de sécheresse prolongée.

L'enrichissement des systèmes caprins passe par la conception de programmes participatifs de sélection génétique, tenant compte à la fois des performances morphométriques et des critères d'adaptabilité au contexte local. L'instauration

de dispositifs de suivi longitudinal multi saisons permettrait de mieux caractériser les réponses des caprins aux dynamiques climatiques interannuelles. Par ailleurs, une analyse économique des interventions proposées s'avère indispensable pour mesurer la viabilité et la rentabilité des actions telles que l'aménagement hydraulique ou l'introduction de races sélectionnées. Une telle démarche contribuerait à orienter les choix techniques, à évaluer les retombées socio-économiques pour les éleveurs, et à éclairer la prise de décision à différentes échelles territoriales.

L'intégration des enjeux liés au changement climatique, à la sécurisation de l'accès à l'eau et à la gestion durable des ressources pastorales constitue un impératif pour stabiliser et renforcer les systèmes d'élevage dans les régions vulnérables. La combinaison de l'innovation génétique, de l'ingénierie hydrique adaptée, de l'implication communautaire et de la recherche scientifique appliquée offre une voie cohérente pour améliorer la productivité caprine sans compromettre la résilience écologique ni la durabilité socio-économique des ménages pastoraux du sud de Madagascar.

5. RÉFÉRENCES

1. FAO (2021). Livestock and climate change: adaptation strategies for small ruminants in semi-arid areas. Rome. 2021 Disponible sur : <http://www.fao.org/climatechange>
2. Kebede, K., et al. (2021). Effects of water scarcity on small ruminants in drylands. *Small Ruminant Research*, 195.
3. INSTAT (2020). Livestock census in Madagascar. Institut National de la Statistique, Antananarivo.
4. Lu CD, Potchoiba MJ. Milk feeding and weaning of goat kids - A review. *Small Rumin Res.* 1988;1(2):105-112. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(88\)90029-5](https://doi.org/10.1016/0921-4488(88)90029-5)
5. Malan SW. The improved Boer goat. *Small Rumin Res.* 2000;36(2):165-170. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00160-1](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00160-1)
6. Casey NH, Van Niekerk WA. The Boer goat. I. Origin, adaptability, performance testing, reproduction and milk production. *Small Rumin Res.* 1988;1(3):291-302. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(88\)90056-8](https://doi.org/10.1016/0921-4488(88)90056-8)
7. Erasmus JA. Adaptation to various environments and resistance to disease of the Improved Boer goat. *Small Rumin Res.* 2000;36(2):179-187. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00162-5](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00162-5)
8. Silanikove N. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. *Small Rumin Res.* 2000;35(3):181-193. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00096-6](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00096-6)
9. Chedid M, Jaber LS, Giger-Reverdin S, Duvaux-Ponter C, Hamadeh SK. Water stress in sheep raised under arid conditions. *Can J Anim Sci.* 2014;94(2):243-257. <https://doi.org/10.4141/cjas2013-188>
10. Howden SM, Turnpenny J. Modelling heat stress and water loss of beef cattle in subtropical Queensland under current climates and climate change. In: *Modsim'97 International Congress on Modelling and Simulation*; 1997 Dec 8-11; Hobart, Australia. p. 1103-1108.
11. Kosgey IS, Rowlands GJ, van Arendonk JAM, Baker RL. Small ruminant production in smallholder and pastoral/extensive farming systems in Kenya. *Small Rumin Res.* 2008;77(1):11-24. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2008.02.005>
12. Peacock C. Improving goat production in the tropics: A manual for development workers. Oxford: Oxfam Publications; 1996.
13. Rasambainarivo JH, Razafindraibe H, Rabehantiriony M, Rasoloarison R, Rafalimanantsoa E, Barsona MRR. Responses to dry season supplementation by dairy cows on the highlands of Madagascar. In: Smith T, editor. *Proceedings of the Workshop on Food, Lands and Livelihoods*. Nairobi: KARI/DFID/ILRI; 2000. p. 90-97.
14. Warmington BG, Kirton AH. Genetic and non-genetic influences on growth and carcass traits of goats. *Small Rumin Res.* 1990;3(2):147-165. [https://doi.org/10.1016/0921-4488\(90\)90089-J](https://doi.org/10.1016/0921-4488(90)90089-J)
15. Lebbie SHB, Ramsay K. A perspective on conservation and management of small ruminant genetic resources in the sub-Saharan Africa. *Small Rumin Res.* 1999;34(3):231-247. [https://doi.org/10.1016/S0921-4488\(99\)00076-0](https://doi.org/10.1016/S0921-4488(99)00076-0)
16. Naude RT, Hofmeyr HS. Meat production. In: Gall C, editor. *Goat Production*. London: Academic Press; 1981. p. 285-307.
17. Alexander G, Aumont G, Mainaud JC, Fleury J, Naves M, Boval M. Physical measurements in the Creole goat of Guadeloupe (FWI): factors of variation and relationship with breeding management. *Rev Elev Méd Vét Pays Trop.* 1999;52(2):105-111.
18. Devendra C. Goats: Challenges for increased productivity and improved livelihoods. *Outlook Agric.* 1999;28(4):215-226. <https://doi.org/10.1177/003072709902800405>



How to cite this article: Helinoro Diamondra RAZAIVAOVOLOLONIAINA, Sergio Ruffin Damy Milasoa BANDAHY et Hacynicolas Finoana Arizo RANDRIAMANDRATONDRAKOTONIRINA. PERFORMANCES MORPHOMÉTRIQUES DE TROIS RACES CAPRINES DANS UN CONTEXTE DE DISPONIBILITÉ HYDRIQUE CONTRASTÉE : ÉTUDE DANS LE DISTRICT D'AMBOVOMBE, MADAGASCAR. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2025; 20(5): 1-14 DOI: 10.5281/zenodo.15328130

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non-Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>