

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد- تلمسان
Université Abou Bekr BELKAID – Tlemcen
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, et Sciences de la Terre et de l'Univers
Département de Biologie



Laboratoire de génétique appliquée en agriculture, écologie et santé publique



MEMOIRE

Présenté En vue de l'obtention du diplôme de **Master En Biologie**

Option : **Génétique**

Par :

**SAAD Chahinez
MOKRANI Samia**

Thème :

La caractérisation morphométrique du chien Berger allemand au niveau de l'Ouest Algérien

Soutenu publiquement le : Samedi 28 Juin 2025

Présidente : SELKA Sarra

Dr Université de Tlemcen

Encadrant : BENHAMADI Mohamed El Amine

Dr Université de Tlemcen

Examineur : GAOUAR Semir Bechir Suheil

Pr Université de Tlemcen

Invité : HADDAM Hadi Youssouf

Dr Université de Tlemcen

Année universitaire 2024 - 2025

Dédicaces (Saad Chahinez)

Je dédie ce modeste travail

A mes parents :

*A mon cher père « Tayeb » qui travaille pour moi jour et nuit. Et à ma mère
« Ismahane » bienaimée, qui avec son amour a fait de moi une femme forte, que
Dieu vous protège tous les deux et vous garde comme une lumière pour ma vie. Je*

t'aime

A mes frères :

Mon bonheur et mon sourire de ma vie je t'aime

À toute ma famille

A mes amis :

*Fatiha, Aya, Rihem, Meriam et Hind je vous souhaiter tout le bonheur et le succès
dans la vie professionnel et personnel.*

A mes chers collègues de la promo Génétique 2025

Dédicaces (Mokrani Samia)

A vous, mes parents, j'écris ces lignes avec l'encre de votre amour, vous qui avez faits de mes rêves un devoir, vous qui avez tendu vos mains pour élever les miennes. Votre sagesse est mon héritage, et chaque pas que j'ai fait porte l'écho de vos prières.

A toi, Hadi, mon époux, compagnon de mes silences, présences douce dans l'agitation, ton regard m'a appris que l'amour, parfois, c'est juste être là ... et croire en l'autre, sans bruit.

A mes frères, Fassine et Olyes, rochers calmes au bord de mes marées, vous m'avez portée sans le dire, avec cette pudeur des cœurs profonds qui aiment sans faire de bruit.

Et à toi, Phahinez, ma petite sœur, mon éclat de tendresse, la main minuscule qui tient la mienne plus fort qu'elle ne le croit

A vous tous, ce mémoire n'est pas une fin, mais un bouquet d'amour que je vous tends, fait de mots, de nuits blanches, de rêves, et surtoutde vous.

Remerciement

Tout d'abord nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous fournir de la patience au moment de besoin, de la force au moment de la faiblesse et de la volonté contre le désespoir, et de nous avoir permis d'en arriver là.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à notre encadreur **HADDAM Hadi Youssouf**, pour son co-encadrement bienveillant, sa patience, ses conseils éclairés, et surtout pour nous avoir accordé sa confiance tout long de ce travail

Nous remercions aussi tous les membres du jury dont **Dr. SELKA Sarra** qui a accepté de le présider, **Mr. GAOUAR Semir Bechir Suheil**, professeur à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Dr. BENHAMADI Mohamed El Amine, pour avoir accepté d'encadrer ce travail.

Je remercie tous ceux qui par leurs encouragements, Leur aide, Leurs conseils ou leurs critiques, Ont contribué à la réalisation de ce travail.

Résumé

Le présent travail vise à faire une caractérisation morphométrique du berger allemand au niveau de deux wilayas de l'ouest algérien, de faire une classification hiérarchique sur composant principale, d'étudier la différence entre les mâles et les femelles, d'étudier la diversité morphométrique entre les sexes et enfin établir des modèles mathématiques basés sur la régression linéaire dans le but d'estimer le poids des chiens en fonction des mensurations corporelles. 80 chiens dont 40 mâles et 40 femelles répartis d'une manière équitable entre les deux wilayas ont été utilisés. Les moyennes pour la hauteur au garrot, la hauteur de la croupe, la longueur du corps, la longueur de la tête, la largeur de la tête, la longueur du museau, la circonférence de la tête, la longueur des oreilles, la circonférence thoracique, la circonférence du poignet, la circonférence abdominale ont été utilisées comme mesures corporelles, le poids a été mesuré aussi. L'indice de profil, l'indice céphalique, l'indice corporel, l'indice tête- museau et l'indice oreille- tête ont été calculés. Parmi les modèles de régression multiple formés, les plus élevés coefficients de détermination (R^2) ont été obtenus à partir des modèles formés de la hauteur au garrot, la longueur des oreilles, la circonférence thoracique et la circonférence du poignet pour les mâles avec un R^2 de 0.970 et un CCC de 0.980, et un modèle formé de la hauteur au garrot, la circonférence de la tête et la longueur des oreilles pour les femelles avec un R^2 de 0.910 et un CCC de 0.980. La présente étude a montré que le poids vif du berger allemand peut être estimé avec une bonne précision.

Mots clés : Berger allemand, chien, diversité, modélisation, morphométrie, ouest Algérien.

Abstract

The present work aims to carry out a morphometric characterization of the German Shepherd in two western Algerian provinces, to perform a hierarchical classification based on principal component analysis, to study the difference between males and females, to examine the morphometric diversity between the sexes, and finally to establish mathematical models based on linear regression in order to estimate the weight of the dogs according to body measurements. 80 dogs, including 40 males and 40 females distributed equally between the two provinces, were used. The averages for withers height, croup height, body length, head length, head weight, muzzle length, head circumference, ear length, thoracic circumference, wrist circumference, and abdominal circumference were used as body measurements. Weight was also measured. The profile index, cephalic index, body index, head-muzzle index, and ear-head index were calculated. Among the multiple regression models formed, the highest coefficients of determination R^2 were obtained from models composed of withers height, ear length, thoracic circumference, and wrist circumference for males with an R^2 of 0.970 and a CCC of 0.980, and a model composed of withers height, head circumference, and ear length for females with an R^2 of 0.910 and a CCC of 0.980. This study showed that the live weight of the German Shepherd can be estimate with good accuracy.

Keywords: Dog, diversity, German shepherd, modelling, morphometry, western Algeria

ملخص

يهدف هذا العمل إلى إجراء توصيف مورفومتري لكلاب الراعي الألماني على مستوى ولايتين من الغرب الجزائري، وإجراء تصنيف تراتبي على أساس التحليل بالمكونات الرئيسية، ودراسة الفروق بين الذكور والإناث، وتحليل التنوع المورفومتري بين الجنسين، وأخيرًا بناء نماذج رياضية اعتمادًا على الانحدار الخطي بهدف تقدير وزن الكلاب بناءً على القياسات الجسمية. تم استخدام 80 كلبًا، منها 40 ذكرًا و40 أنثى، موزعين بالتساوي بين الولايتين. وقد استخدمت المتوسطات لكل من ارتفاع الحارك، ارتفاع العجز، طول الجسم، طول الرأس، عرض الرأس، طول الأنف، محيط الرأس، طول الأذنين، محيط الصدر، محيط الرسغ، ومحيط البطن كقياسات جسمية. كما تم قياس الوزن أيضًا. تم حساب كل من مؤشر الشكل الخارجي، المؤشر الراسي، مؤشر الجسم، مؤشر الرأس-الأنف، ومؤشر الأذن-الرأس. من بين نماذج الانحدار المتعدد التي تم بناؤها، تم الحصول على أعلى معاملات التحديد (R^2) من النماذج التي تضمنت ارتفاع الحارك، طول الأذنين، محيط الصدر، ومحيط الرسغ عند الذكور، حيث بلغ $R^2 = 0.970$ ومعامل توافق الانحدار $(CCC) = 0.980$ أما عند الإناث، فقد تم الحصول على نموذج يتكوّن من ارتفاع الحارك، محيط الرأس، وطول الأذنين، مع $R^2 = 0.910$ و $CCC = 0.980$. وقد أظهرت هذه الدراسة أن الوزن الحي لكلاب الراعي الألماني يمكن تقديره بدقة جيدة اعتمادًا على القياسات الجسمية.

الكلمات المفتاحية: غرب الجزائر، الراعي الألماني، القياس الشكلي، الكلب، التنوع، النمذجة.

Table des matières

Liste des abréviations.....	I
Liste des figures	IV
Liste des tableaux.....	VI
INTRODUCTION.....	1
PREMIERE PARTIE : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
CHAPITRE I : Notions générales sur la biodiversité.....	5
1- Concept de la biodiversité.....	5
2- Impact et Importance de la Biodiversité	5
3- Diversité génétique et processus évolutifs	5
3.1. Mutation.....	6
3.2. Sélection.....	6
3.3. Migration.....	6
3.4. Dérive génétique	6
4- Notions de population, d'espèce, de race et de variété chez les animaux	6
4.1. Population	6
4.2. Espèce	7
4.3. Race.....	7
4.4. Variété.....	7
5- Classification des populations animales domestiques	8
5.1. Espèce sauvage	8
5.2. Population traditionnelle	8
5.3. Race standardisée	8
5.4. Lignée sélectionnée.....	9
CHAPITRE II : Méthodes de caractérisation des ressources génétiques animales	9
1- Echantillonnage et enquête sur terrain	9
2- Méthodes de la caractérisation des ressources animales.....	9
2.1. Méthodes de caractérisation morphobiométrique.....	10
2.2 Méthodes biochimiques	10
2.3 Groupes sanguins	11
2.4 Marqueurs moléculaires	11
2.4.1 Les microsatellites (ou Simple Sequence Repeats, SSR)	11
2.4.2 Les Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs).....	11
2.4.3 L'ADN mitochondrial.....	12
2.4.4 Les marqueurs RFLP et RAPD.....	12
2.4.5 Les avancées récentes en génomique, comme le séquençage de nouvelle génération (NGS)	12
CHAPITRE III : Généralités sur les chiens	12
1- Définition et domestication	12
1.1. Définition	12
1.2. Domestication	13
2- Classification des chiens	14
2.1. Classification phénotypique et génétique	14
2.2. Classification établie par la FCI des chiens	15
3- Quelques utilisations des chiens dans les sociétés humaines modernes	15
3.1. Chiens comme animaux de compagnie.....	15
3.2. Chiens dans les Services de Sécurité	16

3.3. Chiens de Thérapie et d'Assistance	16
3.4. Chiens comme Instrument de Chasse	16
4- La race de chien de Berger Allemand	16
4.1. Le Berger Allemand à poil court	17
4.2. Le Berger Allemand à poil long.....	18
4.3. Le Berger Allemand à poil court américain.....	19
4.4. Le Berger Allemand de travail.....	19
4.5. Le Berger Allemand de show	20
CHAPITRE IV : Généralités sur la race Berger Allemand.....	21
1. Notions historiques	21
2. Couleurs du Berger Allemand	23
A. Noir et feu	23
B. Sable.....	24
C. Noir uni	24
D. Bicolore	24
a. Blanc	24
b. Bleu	24
c. Foie (marron chocolat)	24
3. Maladies fréquentes chez le Berger Allemand	25
3.1. Dysplasie de la hanche.....	25
3.2. Dysplasie du coude	25
3.3. Maladie de vonWillebrand.....	25
3.4. Spondylose vertébrale	25
4. Le Berger Allemand en Algérie.....	25
4.1. L'Association Cynologique Algérienne (ACA)	26
4.2. La Société Algérienne du Chien de Berger Allemand (S.A.C.B.A).....	26
4.3. L'Association Nationale des Passionnés du Chien Berger Allemand (A.N.P.C.B.A)	27
.....	27
DEUXIEME PARTIE : PARTIE EXPERIMENTALE.....	28
MATERIELS ET METHODES	29
1. Zone d'étude	30
2. Populations d'étude.....	30
2.1. Choix des animaux.....	30
2.2. Echantillonnage des deux populations.....	31
3. Analyse morphométrique.....	32
3.1. Mensurations corporelles et indices corporels.....	32
3.1.1. Mensurations corporelles	32
3.1.2. Indices corporels	32
4. Matériel de mesures	33
5. Logiciels.....	33
5.1. Microsoft Excel 2016 pour Windows	33
5.2. Logiciel R	34
6. Analyse Statistique	34
RESULTATS ET DISCUSSION	36
Analyse statistique	36
1. Statistiques descriptives	36
2. Statistiques inférentielles	39
2.1. Effet du sexe sur les mensurations et indices corporels.....	39

2.2.Effet de l'environnement sur les mensurations et indices corporels.....	41
2.3.Effet de l'environnement sur les mensurations et indices corporels des mâles.....	43
2.4.Effet de l'environnement sur les mensurations et indices corporels des femelles.	45
3. Analyses multivariées	46
3.1.Analyse en composantes principales et classification hiérarchique sur composantes principales	46
4. Etude de la distance géométrique (Mahalanobis) et de la différence morphologique entre les mâles et les femelles (Indice de Shannon)	52
5. Etude des corrélations et analyse de régression linéaire multiple.....	54
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	61
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	64
REFERENCES LOGICIEL R ET PACKAGES	71

Liste des abréviations

ACA : Association Cynologique Algérienne

ACP : Analyse en composantes principales

AKC : American Kennel Club

ANPCBA : Association Nationale des Passionnés du Chien Berger Allemand

CA : Circonférence abdominale

CC : Circonférence du poignet

CCC : Coefficient de corrélation de concordance

CR : Coefficient de régression

CTh : Circonférence thoracique

CTT : Circonférence de la tête

DCC : Distance du centre de la classe.

DEA: Dog Erythrocyte Antigen.

DM : Distance de Mahalanobis.

DWS : Durbin-Watson Statistics

ES : erreur standard

F : Femelles

FAO : Food and Agriculture Organisation

FCI : Fédération Cynologique Internationale

FCI : Fédération Cynologique Internationale

FSE : Valeur du test de Fisher.

HC : Hauteur de la croupe

HCPC : classification hiérarchique sur composantes principales

HG : Hauteur au garrot

IC : Indice céphalique

Icr : Indice corporel

ID : Identifiant

IOT : Indice oreille- tête

IP : Indice de profil

ITM : Indice tête - museau

KS : Kolmogorov-Smirnov

LC : Longueur du corps

LM : Longueur du museau

LO : Longueur des oreilles

LOA : Livre des origines Algériennes

LrT : Largeur de la tête

LT : Longueur de la tête

M : Males

NGS: Next Generation Sequencing.

P : Poids

PAGE : Electrophorèse sur gel de polyacrylamide

R² : Coefficient de détermination

RAPD: Random Amplified Polymorphic DNA.

RFLP: Restriction Fragment Length Polymorphisms.

SACBA : Société Algérienne du Chien de Berger Allemand

SNP: Single Nucleotide Polymorphisms.

SSR: Simple Sequence Repeats.

TOL : tolérance

VHT : Valeur du test

VI : variable indépendante

VIF : facteur d'inflation de la variance

VP : valeur de probabilité

β : Coefficient de régression

Liste des figures

Figure 1 : Preuve archéologique de la première apparition de chiens à travers L'Eurasie et un modèle de domestication du chien.....	14
Figure 2 : Exemple d'un berger allemand à poils courts (Page officielle des Étalons Berger Allemand LOF Poil Court & Poil Long)	18
Figure 3 : Exemple d'un berger allemand à poils longs (Page officielle des Étalons Berger Allemand LOF Poil Court & Poil Long)	19
Figure 4 : Exemple d'un berger allemand d'une lignée de travail.....	20
Figure 5 : Les différentes lignées du berger allemand.....	20
Figure 6 : Max Emil Friedrich vonStephanitz avec son chien (le premier berger allemand enregistré nommé <i>HorandvonGrafrath</i>)	22
Figure 7 : Logo de l'Association Cynologique Algérienne (ACA).....	26
Figure 8 : Logo de la Société Algérienne du Chien de Berger Allemand (S.A.C.B.A)	27
Figure 9 : Logo de l'Association Nationale des Passionnés du Chien Berger Allemand (A.N.P.C.B.A).....	27
Figure 10 : Carte géographique montrant les sites d'échantillonnage	30
Figure 11 : Exemple de chiens de Sidi Bel Abbes en plein travail.....	31
Figure 12 : Les mensurations corporelles utilisées	32
Figure 13 : Pourcentage de la variance expliquée par ACP	47
Figure 14 : Cercle des corrélations de l'ACP	47
Figure 15 : carte factorielle des individus après ACP	48
Figure 16 : Dendrogramme des individus en fonction de leur cluster	49
Figure 17 : Répartition des chiens par cluster	49

Figure 18 : la répartition des individus par cluster, sexe et écotype.....	50
Figure 19 : Représentation graphique de l'indice de Shannon chez les mâles et les femelles.....	53
Figure 20 : Matrice de corrélation de Pearson entre le poids vif et les paramètres étudiés chez les mâles.....	55
Figure 21 : Matrice de corrélation de Pearson entre le poids vif et les paramètres étudiés chez les femelles.....	55
Figure 22 : Coefficient de corrélation de concordance de Lin entre le poids observé et le poids estimé chez les mâles.....	58
Figure 23 : Coefficient de corrélation de concordance de Lin entre le poids observé et le poids estimé chez les femelles.....	59

Liste des tableaux

Tableau 1 : classification des chiens selon FCI.....	15
Tableau 2 : les différences entre les Standards FCI et AKC du Berger Allemand.....	17
Tableau 3 : Origine, sexe et nombre d'individus étudiés	31
Tableau 4 : Statistiques de Kolmogorov-Smirnov des paramètres et indices utilisés.....	37
Tableau 5 : Statistiques descriptives de la population étudiée	38
Tableau 6 : Effet du sexe sur les mensurations et les indices corporels.....	39
Tableau 7 : Effet de l'écotype sur les mensurations et les indice corporels.....	42
Tableau 8 : Effet de la région sur les chiens de sexe masculin	44
Tableau 9 : Effet de la région sur les chiens de sexe féminin	45
Tableau 10 : Détails des caractéristiques morphométriques de chaque classe.....	50
Tableau 11 : Détails des meilleurs individus représentatifs de chaque cluster	52
Tableau 12 : Distance de Mahalanobis entre les mâles et les femelles	53
Tableau 13 : Indice de diversité morphométrique de Shannon chez les mâles et les femelles.....	54
Tableau 14 : Détails statistiques des modèles de prédiction du poids par régression linéaire multiple	56

INTRODUCTION

Les chiens (*Canis lupus familiaris*), qui ont été l'une des premières espèces domestiquées par l'être humain, présentent des preuves de domestication datant d'environ 15 000 à 30 000 ans. Selon Wayne et vonHoldt (2012), il est probable que les précurseurs des chiens modernes étaient des loups attirés par les habitats humains. Au fil des siècles, les chiens ont été utilisés pour diverses tâches, notamment la chasse, la protection, le travail pastoral et plus récemment en tant qu'animaux de compagnie (Serpell, 1996). Avec le temps, chaque race a été développée pour répondre à des besoins précis (Coppinger & Coppinger, 2001).

Selon les propos de l'Association Cynologique Algérienne (ACA), l'élevage canin prend une importance grandissante en Algérie. Pour le berger allemand, il existe depuis au moins une quarantaine d'années sur le sol algérien, il a toujours été utilisé comme chien de garde chez les particuliers et aussi comme chien de travail et de dépistage chez les forces de l'ordre (police nationale, gendarmerie nationale) avant d'être remplacé par le berger belge malinois.

Le manque de documentation scientifique et académique concernant le berger allemand en Algérie constitue un facteur prédominant d'incertitude quant au profil morphologique de cette race. Les experts et les scientifiques, dans leur démarche de définition des différentes caractéristiques animales, s'appuient généralement sur des travaux académiques solidement ancrés. Cependant, le manque d'études sur le berger allemand en Algérie a rendu difficile l'établissement d'une compréhension précise de la race, de ses traits distinctifs et des méthodes potentielles pour préserver sa lignée.

Nous utilisons généralement des dimensions physiques pour identifier diverses propriétés des animaux. Les critères principaux utilisés par les chercheurs et lors du choix des races incluent le poids en vie et diverses dimensions corporelles. Lorsque l'on vise à préserver et protéger les races, on se concentre généralement sur deux critères fondamentaux : le poids vif et les traits de croissance. Une race est définie comme un ensemble d'individus qui possèdent des traits transmissibles et distincts, ce qui signifie que chaque race possède des caractéristiques qui la distinguent des autres races (González et al. 2011). Dans une perspective similaire, la race est caractérisée comme un groupe d'individus pouvant être biologiquement différenciés les uns des autres (Cavalli-Sforza, 2000).

Cette étude utilise l'analyse morphométrique en utilisant les mêmes méthodes que celles déployées pour d'autres races de chiens (González et al. 2011 ; Urosevic et al. 2020a ; Urosevic et al. 2020b), ou pour différentes espèces domestiques comme les chèvres, les moutons et le dromadaire (Traoré et al. 2008 ; Yilmaz et al. 2013 ; Meghelli et al. 2020).

L'objectif principal de cette étude est de faire une caractérisation morphométrique de deux populations de chien de berger allemand au niveau de deux wilayas de l'ouest algérien, d'étudier l'influence du sexe et de la zone géographique sur les mensurations corporelles, l'organisation des chiens étudiés en clusters en fonction des mensurations corporelles et le poids vif, la diversité morphologique entre les mâles et les femelles ainsi que la distance géométrique qui sépare les deux sexe dans le but de repérer les meilleurs sujets qui peuvent être utilisés dans un programme de sélection et d'amélioration de certains traits morphologiques.

L'objectif secondaire est d'étudier la relation entre le poids vif qui est un paramètre très important avec les autres paramètres morphométriques dans le but d'établir des formules mathématiques basées sur les mensurations corporelles pour la prédiction du poids des chiens.

PREMIERE PARTIE :
REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : Notions générales sur la biodiversité

La biodiversité, ou diversité biologique, englobe la diversité des formes de vie à différents niveaux d'organisation : les écosystèmes, les espèces et les gènes.

1- Concept de la biodiversité :

La biodiversité se manifeste par plusieurs dimensions complémentaires :

- La diversité génétique : assure la variation au sein des populations d'une espèce, favorisant leur capacité à s'adapter aux changements environnementaux (CBD, 1992).
- La diversité spécifique : représente la variété des espèces présentes dans une région donnée, essentielle au maintien de l'équilibre écologique (Wilson, 1992).
- La diversité des écosystèmes : inclut différents habitats, leur structure, et les fonctions qu'ils remplissent, contribuant au fonctionnement global de la biosphère (Naeem et al. 1999).

2- Impact et Importance de la Biodiversité :

La biodiversité revêt une importance cruciale dans la fourniture de services écosystémiques, indispensables à la vie humaine. Elle garantit, tout d'abord, des services de régulation tels que la purification de l'eau, le contrôle des maladies et la régulation climatique, qui influent directement sur notre bien-être (Daily, 1997). En outre, elle contribue aux services d'approvisionnement en fournissant des ressources essentielles telles que la nourriture, le bois ou les médicaments, comme le montrent les travaux de Díaz et al. (2006). Sur le plan culturel, la biodiversité enrichit les dimensions esthétique, spirituelle et récréative des sociétés humaines, soutenant leur connexion avec la nature (MEA, 2005). De plus, elle assure une résilience écologique, permettant aux écosystèmes de s'adapter aux perturbations et d'assurer leur stabilité (Loreau et al. 2001). En somme, l'importance de la biodiversité réside dans son rôle multifonctionnel, soutenant à la fois les écosystèmes et les sociétés humaines.

3- Diversité génétique et processus évolutifs :

La diversité génétique est une composante essentielle de la biodiversité. Elle réfère à la variabilité des gènes au sein d'une population ou d'une espèce. Cette diversité constitue une base fondamentale pour les processus évolutifs, permettant aux organismes de s'adapter aux changements de leur environnement (Allendorf et Luikart, 2007). Les processus évolutifs tels que la mutation, la sélection, la migration et la dérive génétique sont à l'origine de la structuration et de l'évolution de cette diversité.

3.1. Mutation :

La mutation est le principal moteur de la variation génétique. Elle correspond à un changement dans la séquence d'ADN, qui peut introduire de nouveaux allèles dans une population. Ces mutations peuvent être causées par des erreurs de réplication, des dommages chimiques ou l'exposition à des radiations (Griffiths et al. 2000). Bien que la plupart des mutations soient neutres ou délétères, certaines peuvent conférer un avantage sélectif dans des environnements particuliers, devenant ainsi un matériau brut pour l'évolution (Lynch, 2010).

3.2. Sélection :

La sélection naturelle est un processus par lequel certains génotypes, en raison de leur avantage adaptatif, contribuent davantage à la reproduction. Cela entraîne une modification des fréquences alléliques au fil des générations (Darwin, 1859). La sélection peut être stabilisante, directionnelle ou disruptive, et son effet dépend de l'environnement et de la pression exercée par des facteurs comme les prédateurs ou les ressources alimentaires (Maynard Smith, 1998).

3.3. Migration :

La migration, ou flux génétique, implique l'échange d'allèles entre populations. Ce processus réduit les différences génétiques entre les populations et peut augmenter la variabilité génétique locale (Slatkin, 1985). Cependant, un flux génétique excessif peut limiter l'adaptation locale en introduisant des allèles moins bien adaptés aux conditions spécifiques d'une population (Hartl & Clark, 2007).

3.4. Dérive génétique :

La dérive génétique est un mécanisme évolutif aléatoire résultant des fluctuations des fréquences alléliques, en particulier dans les populations de petite taille (Wright, 1931). Ce processus peut conduire à une perte d'allèles rares et réduire la diversité génétique à long terme (Lande, 1993). La dérive génétique joue également un rôle clé lors des événements de goulots d'étranglement ou de fondation, où une petite population fondatrice peut donner naissance à une nouvelle population avec une diversité génétique réduite.

4- Notions de population, d'espèce, de race et de variété chez les animaux :

4.1. Population :

Une population est définie comme un groupe d'individus de la même espèce vivant dans une même région géographique et interagissant par la reproduction (Odum, 1971). Les individus

d'une population partagent un même pool génétique, et leur évolution dépend des forces évolutives comme la sélection naturelle, la mutation, la migration, et la dérive génétique (Hartl & Clark, 2007). Une population peut être caractérisée par ses paramètres démographiques (densité, natalité, mortalité) et son organisation sociale. Les populations constituent ainsi l'unité fondamentale de la dynamique évolutive.

4.2. Espèce :

L'espèce est traditionnellement définie comme un groupe d'individus capables de se reproduire entre eux et de produire une descendance viable et féconde (Mayr, 1942). Ce concept biologique repose sur l'isolement reproductif, qui empêche le mélange génétique entre espèces distinctes. Cependant, plusieurs autres concepts existent, tels que l'espèce morphologique, basée sur les traits phénotypiques, ou l'espèce phylogénétique, qui s'appuie sur les relations évolutives (Ridley, 2004). Chez les animaux, l'identification des espèces est parfois complexe en raison des cas d'hybridation ou des différences cryptiques. L'étude des espèces est essentielle pour la classification biologique et la conservation de la biodiversité.

4.3. Race :

Une race est une subdivision au sein d'une espèce animale. Les races se caractérisent par des traits phénotypiques ou génétiques distincts, souvent sélectionnés et entretenus par des pratiques humaines (Templeton, 2006). Par exemple, chez les animaux domestiques, les races sont le produit de la sélection artificielle visant à améliorer des caractéristiques telles que la productivité, la docilité ou l'esthétique (Darwin, 1859). Cependant, la distinction entre race et population naturelle repose sur l'intervention humaine et le contrôle sur la reproduction. Les races d'animaux sauvages, bien que moins utilisées dans la science, existent en tant que populations locales adaptées à des environnements spécifiques.

4.4. Variété :

La variété chez les animaux est moins couramment employée que pour les plantes, mais elle désigne des groupes présentant des différences mineures au sein d'une même espèce. Contrairement à une race, la notion de variété n'implique pas nécessairement une intervention humaine. Par exemple, des variations naturelles de taille, de coloration ou de comportement peuvent donner lieu à la désignation de variétés au sein d'une espèce animale (Dobzhansky, 1937). Ces distinctions sont souvent observées dans des populations isolées géographiquement, où les contraintes environnementales façonnent des adaptations spécifiques.

5- Classification des populations animales domestiques :

La classification des populations animales domestiques repose sur des concepts bien établis qui prennent en compte l'histoire de l'animal, les pratiques de sélection et les interventions humaines. Ces distinctions sont essentielles pour comprendre l'évolution et la gestion des animaux domestiques et leur relation avec les espèces sauvages.

5.1. Espèce sauvage :

L'espèce sauvage est l'ancêtre ou le parent de base à partir duquel une population domestique a été dérivée. Les espèces sauvages vivent dans leurs habitats naturels et se reproduisent de manière indépendante, sans interventions humaines dans le processus de sélection génétique (Darwin, 1859). Les animaux sauvages ont une génétique non influencée par des pratiques humaines, et leurs populations peuvent être définies selon des critères tels que la variabilité génétique et les adaptations aux conditions locales (Sykes et al. 1994). L'évolution de ces espèces, à travers la sélection naturelle, est guidée par des facteurs comme la compétition pour les ressources, la prédation et les conditions environnementales.

5.2. Population traditionnelle :

Les populations traditionnelles, aussi appelées populations locales ou autochtones, sont des groupes d'animaux domestiques qui ont évolué sous l'influence de pratiques humaines moins intensives que celles appliquées à des races standardisées. Ces populations se caractérisent par un faible niveau de sélection et une certaine hétérogénéité génétique, souvent en raison du maintien d'un système de reproduction ouvert (Serradj et al. 2011). Les animaux d'une population traditionnelle sont adaptés à des environnements locaux spécifiques et maintiennent une diversité génétique relativement élevée. Ce type de population peut également refléter une conservation génétique importante, puisque la pression de sélection humaine est modérée par rapport aux races intensivement sélectionnées.

5.3. Race standardisée :

Une race standardisée fait référence à des populations animales domestiques qui ont été sélectionnées de manière rigoureuse selon des critères uniformes, dans le but d'établir une norme génétique et morphologique (Crawford, 2012). Cette sélection, bien que souvent artificielle, permet de fixer les caractéristiques particulières d'une race comme la taille, la couleur, le type corporel ou les aptitudes spécifiques (productive ou comportementale). Ces races ont tendance à perdre une grande partie de leur diversité génétique originale au cours du

processus de sélection. La race standardisée est le produit de méthodes scientifiques utilisées pour contrôler la reproduction des individus et maintenir la stabilité des traits souhaités sur plusieurs générations.

5.4. Lignée sélectionnée :

La lignée sélectionnée désigne un groupe d'animaux dont la reproduction est strictement contrôlée pour renforcer ou introduire certains caractères génétiques spécifiques (Gordini et al. 2016). Ce type de population est souvent utilisé dans le cadre de programmes de sélection génétique ou pour produire des animaux à des fins industrielles, comme l'élevage de volailles à croissance rapide ou de porcs à forte production de viande. Une lignée peut être maintenue dans un contexte très contrôlé, avec des individus provenant de croisements généalogiques bien définie. Les lignées sont soumises à des pressions de sélection très ciblées et peuvent souvent être adaptées pour répondre à des exigences de productivité ou d'efficacité dans des environnements très contrôlés.

Chapitre II : Méthodes de caractérisation des ressources génétiques animales.

1- Echantillonnage et enquête sur terrain

Les enquêtes de terrain nécessitent l'élaboration de questionnaires structurés pour recueillir des informations sur les pratiques d'élevage, les caractéristiques phénotypiques, et les conditions environnementales (Rege&Lipner, 1992). Ces enquêtes peuvent être complétées par des prélèvements biologiques, tels que des échantillons sanguins ou de poils, pour les études moléculaires (FAO, 2011). Une attention particulière doit être accordée à l'implication des communautés locales, car leur connaissance est cruciale pour identifier les races et comprendre leur gestion traditionnelle (Drucker et al. 2001). Ces méthodes combinées permettent de documenter les variations génétiques et de mieux planifier la conservation et l'utilisation des ressources génétiques animales.

2- Méthodes de la caractérisation des ressources animales

Dans le cadre de la caractérisation des ressources génétiques animales, impliquent des approches méthodiques pour collecter des données représentatives sur les populations animales. Selon FAO (2011), il est essentiel de définir une stratégie d'échantillonnage qui assure une représentativité adéquate des différentes sous-populations et variations génétiques, en tenant compte des facteurs géographiques, écologiques et ethniques. Les échantillons

doivent inclure des individus d'origines variées, avec des tailles d'échantillons suffisantes pour permettre des analyses génétiques robustes (Weigend & Romanov, 2001).

2.1. Méthodes de caractérisation morphobiométrique

Cette approche permet de décrire la diversité phénotypique des populations animales et d'identifier des variations entre races ou au sein d'une même population (FAO, 2012). Les paramètres mesurés incluent souvent la taille au garrot, la longueur corporelle, le périmètre thoracique, et la longueur des membres, qui sont utilisés pour évaluer la morphologie générale et les aptitudes fonctionnelles des animaux (Yakubu et al. 2009).

Des outils comme les rubans métriques et les calipers sont utilisés pour les mesures directes, tandis que des analyses statistiques, telles que l'analyse en composantes principales (ACP), permettent de distinguer les groupes morphologiques (Salako, 2006). Ces données peuvent être corrélées avec des facteurs environnementaux et des pratiques d'élevage pour mieux comprendre les adaptations locales des races (Traoré et al. 2008). Enfin, les enquêtes participatives auprès des éleveurs sont souvent intégrées pour valider les résultats morphobiométrique et associer ces données aux fonctions et à la productivité des animaux (FAO, 2012). Ces méthodes combinées offrent une approche holistique pour la caractérisation des ressources génétiques.

2.2 Méthodes biochimiques

Jouent un rôle essentiel dans la caractérisation des ressources génétiques animales, en fournissant des informations sur la diversité au niveau des protéines et des enzymes. Ces techniques consistent principalement à analyser les polymorphismes des protéines, comme l'électrophorèse sur gel de polyacrylamide (PAGE), qui permet de séparer et d'identifier différentes variantes alléliques de protéines spécifiques (Matejcek et al. 2003). Ces polymorphismes enzymatiques et protéiques sont souvent utilisés pour étudier la diversité génétique entre populations ou races animales, car ils reflètent des variations héréditaires (Arranz et al. 1998).

L'analyse biochimique peut également inclure la quantification de métabolites spécifiques ou d'enzymes liés à des adaptations physiologiques ou métaboliques particulières, fournissant ainsi des indices sur la sélection naturelle et les conditions environnementales (Weitzman, 1992). De plus, les marqueurs biochimiques sont particulièrement utiles dans la classification taxonomique et la gestion des programmes de conservation, car ils permettent une évaluation rapide et relativement économique de la variabilité génétique (FAO, 2011). Ces approches biochimiques, bien qu'aujourd'hui souvent complétées ou remplacées par des méthodes

moléculaires, restent importantes pour des études où l'accès à des technologies avancées est limité.

2.3 Groupes sanguins

Chez les chiens, les groupes sanguins sont classés selon le système Dog Erythrocyte Antigen (DEA), qui comprend plusieurs antigènes principaux : DEA 1.1, DEA 1.2, DEA 3, DEA 4, DEA 5, DEA 6, DEA 7 et DEA 8 (Hale, 1995). Parmi ceux-ci, le groupe DEA 1.1 est le plus significatif en médecine vétérinaire, car il est très immunogène et joue un rôle clé dans les réactions transfusionnelles. Les chiens DEA 1.1 positifs peuvent recevoir du sang DEA 1.1 positif ou négatif, tandis que les chiens DEA 1.1 négatifs doivent impérativement recevoir du sang compatible pour éviter une allo-immunisation (Giger et al. 1995).

Le groupe DEA 4 est considéré comme un groupe universel, car presque tous les chiens en sont positifs, et il est rarement impliqué dans des réactions immunitaires transfusionnelles (Blais et al. 2007). En revanche, les groupes DEA 3, DEA 5 et DEA 7 peuvent provoquer des incompatibilités mineures, bien que ces réactions soient généralement moins sévères que celles associées au DEA 1.1 (Hale, 1995). La typisation sanguine est donc cruciale avant toute transfusion pour prévenir les réactions immunitaires graves, et des tests de croisement (crossmatch) sont également recommandés, surtout dans les cas de transfusions répétées (Kessler et al. 2010)

2.4 Marqueurs moléculaires

Sont des outils puissants et indispensables pour la caractérisation des ressources génétiques animales, permettant d'analyser la diversité génétique au niveau de l'ADN. Ces marqueurs se divisent en plusieurs catégories en fonction de leur nature et de leur méthode de détection.

2.4.1 Les microsatellites (ou Simple Sequence Repeats, SSR)

Sont parmi les marqueurs les plus utilisés en raison de leur fort polymorphisme et de leur capacité à révéler les variations génétiques intra et inter populations (Ellegren, 2004). Ces séquences répétées courtes sont présentes dans tout le génome et sont particulièrement utiles pour étudier la diversité génétique, la structure des populations, et les relations de parenté entre individus (FAO, 2011).

2.4.2 Les Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs)

Constituent un autre type de marqueur moléculaire largement utilisé dans les études génomiques. Ils représentent des variations d'un seul nucléotide au sein du génome et sont abondants dans le matériel génétique. Les SNPs permettent une analyse précise de la diversité

génétique et sont particulièrement utiles pour la sélection assistée par marqueurs et pour les études d'adaptation locale (Vignal et al. 2002).

2.4.3 L'ADN mitochondrial

Tels que les séquences du gène *cytochrome b* ou de la région D-loop, sont également couramment utilisés pour retracer l'histoire évolutive et les migrations des populations animales. Ces marqueurs sont particulièrement utiles dans les études phylogénétiques et pour identifier les relations entre les espèces ou les races (Saccone et al. 1999).

2.4.4 Les marqueurs RFLP et RAPD

Ont été parmi les premières méthodes utilisées pour étudier la diversité génétique. Bien qu'ils soient moins utilisés aujourd'hui en raison de leur faible reproductibilité par rapport aux microsatellites et aux SNPs, ils ont contribué de manière significative aux premières étapes de la caractérisation génétique (Weising et al. 2005).

2.4.5 Les avancées récentes en génomique, comme le séquençage de nouvelle génération (NGS)

Permettent aujourd'hui de générer des milliers de marqueurs à l'échelle du génome entier, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour la caractérisation des ressources génétiques animales (Mardis, 2008).

CHAPITRE III : Généralités sur les chiens.

1- Définition et domestication :

1.1. Définition :

Les chiens, *Canis lupus familiaris*, sont des mammifères domestiques appartenant à l'ordre des Carnivores et à la famille des Canidés. Ils sont reconnus comme les premiers animaux domestiqués par l'homme, leur relation remontant à environ 15 000 ans, bien que des preuves archéologiques et génétiques suggèrent que cette domestication pourrait dater de 30 000 à 40 000 ans (Clutton-Brock, 1995).

Les chiens se distinguent par leur grande diversité morphologique, comportementale et physiologique, résultant de leur longue histoire de domestication et de sélection humaine. Ils ont été sélectionnés pour accomplir diverses tâches, notamment la chasse, la garde, la traction de charges et, plus récemment, pour des compagnies sociales (Serpell, 2017). Cette diversité

leur permet de répondre à des besoins variés, allant des fonctions utilitaires aux liens émotionnels étroits qu'ils entretiennent avec les humains.

Biologiquement, les chiens appartiennent à la sous-espèce familiaris du loup gris (*Canis lupus*), partageant avec ce dernier des caractéristiques physiques et comportementales. Cependant, la domestication a entraîné des modifications génétiques majeures affectant leur taille, leur apparence et leur comportement (Wayne, 1993). Ces adaptations incluent un développement accru de leur aptitude à comprendre et interagir avec les signaux humains, un trait unique parmi les animaux domestiques (Hare et Tomasello, 2005).

1.2. Domestication :

La domestication des chiens remonte à environ 15 000 à 30 000 ans, pendant le Paléolithique supérieur, bien avant l'apparition de l'agriculture (Thalmann et al., 2013). Des études génétiques montrent que les chiens partagent un ancêtre commun avec les loups actuels, mais ils ne descendent pas directement des loups modernes. Les premières interactions entre loups et humains auraient été opportunistes : des loups moins agressifs se seraient approchés des campements humains pour se nourrir des déchets, donnant naissance à une sélection naturelle en faveur des individus plus dociles (Coppinger & Coppinger, 2001). Cette coévolution a conduit à l'émergence de traits comportementaux spécifiques tels que la sociabilité et la dépendance aux humains, marquant une séparation génétique entre loups et chiens (Zeder, 2012).

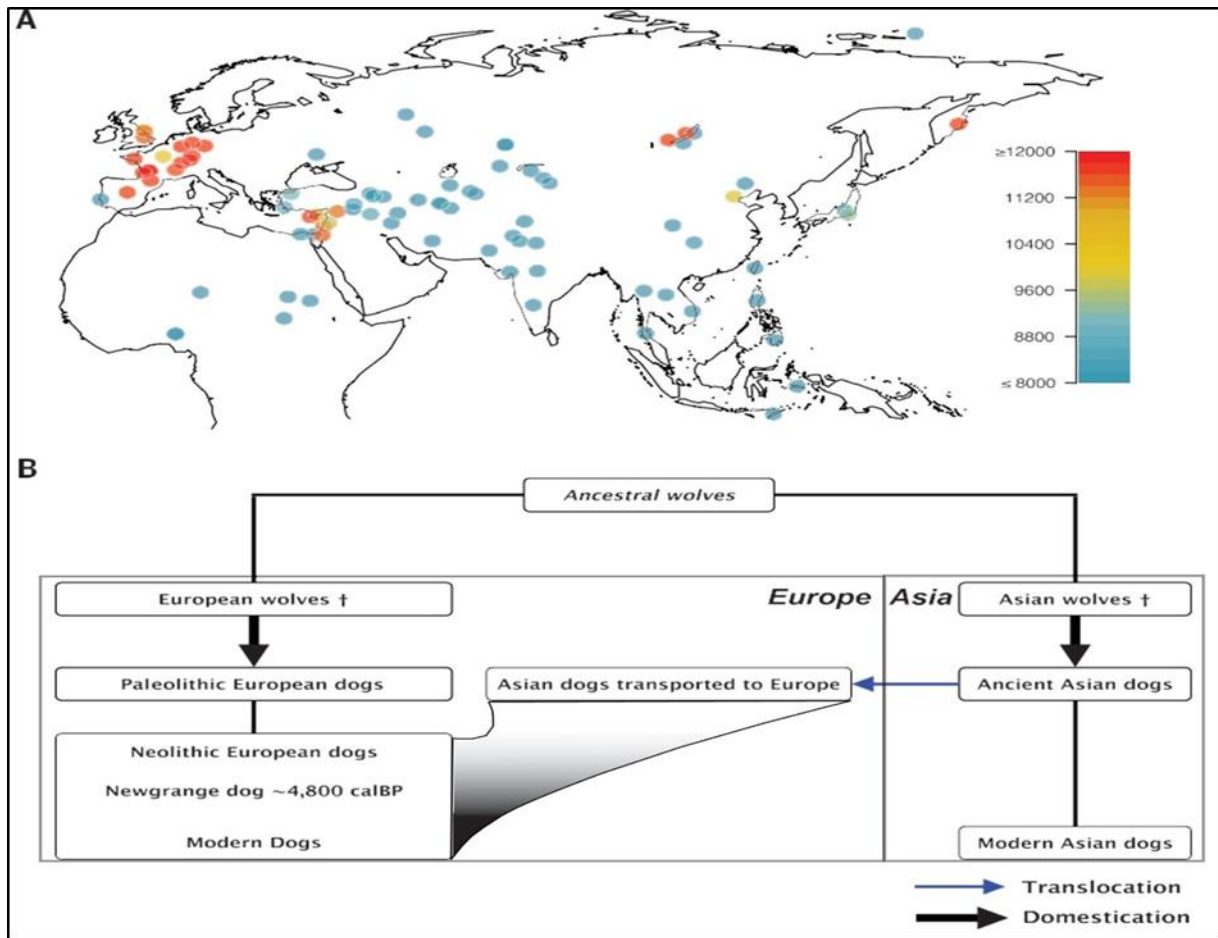


Figure 1 : Preuve archéologique de la première apparition de chiens à travers L'Eurasie et un modèle de domestication du chien (Frantz et al. 2016).

La figure 1 illustre les routes hypothétiques et les régions clés impliquées dans le processus de domestication des chiens à travers l'Eurasie. Elle met en évidence les principaux sites archéologiques. Mettant en évidence des zones majeures telles que l'Europe centrale, la Sibérie occidentale, le Moyen-Orient et la Chine orientale. Les flèches représentent les migrations humaines accompagnées de chiens domestiqués, suggérant une propagation influencée par des interactions culturelles et des besoins de survie. Les reliefs variés indiquent les défis environnementaux rencontrés au fil des déplacements. La carte reflète le rôle crucial des chiens comme compagnons et collaborateurs, soulignant un processus de domestication pluriel et complexe façonné par les migrations humaines (Frantz et al. 2016).

2- Classification des chiens :

2.1. Classification phénotypique et génétique :

La classification phénotypique des chiens repose sur des traits physiques tels que la taille, la forme du crâne, la longueur du pelage, ou encore la couleur. Ces traits permettent de regrouper

les chiens en différentes catégories morphologiques. Par exemple, les chiens à museau court, comme les bulldogs, sont considérés brachycéphales, tandis que les races à museau long, comme les lévriers, sont dolichocéphales (Wayne, 1986).

D'un point de vue génétique, les chiens modernes (*Canis lupus familiaris*) sont classés selon leur diversité allélique et leur proximité évolutive. Les études de phylogénie génétique montrent que toutes les races de chiens descendent du loup gris (*Canis lupus*). Des analyses basées sur l'ADN mitochondrial ont révélé plusieurs lignées majeures chez les chiens domestiqués, liées à leurs origines géographiques (Savolainen et al. 2002).

2.2. Classification établie par la FCI des chiens :

La Fédération Cynologique Internationale (FCI) propose une classification standardisée des races canines reconnues à l'échelle mondiale. Cette classification divise les chiens en 10 groupes principaux, selon leur fonction et leurs caractéristiques physiques.

Tableau 1 : classification des chiens selon FCI

Groupe	Description
1	Chiens de berger et de bouvier (sauf chiens de bouvier suisses)
2	Chiens de type Pinscher et Schnauzer, Molossoïdes et chiens de montagne et de bouvier suisses
3	Terriers
4	Teckels
5	Spitz et types primitifs
6	Chiens courants, chiens de recherche au sang et races apparentées
7	Chiens d'arrêt
8	Chiens rapporteurs de gibier, leveurs de gibier et chiens d'eau
9	Chiens d'agrément et de compagnie
10	Lévriers

3- Quelques utilisations des chiens dans les sociétés humaines modernes :

Les chiens ont joué et continuent de jouer un rôle essentiel dans les sociétés humaines modernes. Leur diversité fonctionnelle fait qu'ils sont utilisés dans de nombreux contextes.

3.1. Chiens comme animaux de compagnie :

Les chiens sont de loin les animaux de compagnie les plus populaires dans de nombreuses cultures modernes. Ils offrent non seulement de la compagnie, mais aussi un soutien émotionnel et affectif. Selon Serpell (1995), l'humanisation des chiens, c'est-à-dire la tendance à les traiter

comme des membres de la famille, a été un phénomène croissant au cours des dernières décennies. Les chiens sont souvent perçus comme des « partenaires sociaux », contribuant au bien-être psychologique et à la réduction du stress chez leurs propriétaires (Serpell, 1995).

3.2. Chiens dans les Services de Sécurité :

Les chiens ont longtemps été utilisés dans des contextes de sécurité, y compris dans la police, l'armée, et pour la détection de substances illicites. Selon Miklósi et al. (2004), les chiens sont capables de détecter des odeurs subtiles et ont une capacité exceptionnelle à travailler avec les humains dans des missions de sécurité. Ils sont utilisés pour la détection de drogues, d'explosifs, et dans les opérations de recherche et de sauvetage. Leur capacité à établir des liens sociaux avec leurs maîtres les rend particulièrement adaptés pour ces tâches de collaboration.

3.3. Chiens de Thérapie et d'Assistance :

Les chiens de thérapie et d'assistance jouent un rôle crucial dans l'amélioration de la qualité de vie des individus souffrant de handicaps physiques, cognitifs, ou émotionnels. McCulloch (2006) explique que les chiens peuvent être formés pour aider des personnes atteintes de handicaps physiques (en tant que chiens guides pour aveugles ou chiens d'assistance pour les personnes handicapées moteurs), mais aussi pour aider des patients souffrant de troubles émotionnels tels que l'anxiété ou la dépression. Leur présence a un impact positif significatif sur la santé mentale des individus qu'ils assistent, comme le montre l'étude de Beck et Katcher (2003).

3.4. Chiens comme Instrument de Chasse :

La chasse avec des chiens remonte à des millénaires et est toujours pratiquée dans de nombreuses cultures modernes. Les chiens de chasse sont utilisés pour la traque, le pistage, et la récupération de gibier. Serpell (1996) note que les chiens ont été sélectivement élevés pour leur capacité à travailler aux côtés des chasseurs, qu'il s'agisse de chiens de pointage (pointer), de chiens courants ou de chiens de rapport (retrievers). La relation symbiotique entre l'homme et le chien dans ce contexte est le résultat d'une longue évolution de leur rôle au sein des sociétés humaines.

4- La race de chien de Berger Allemand :

Le Berger Allemand est l'une des races les plus populaires et les plus respectées dans le monde, tant en termes de travail que de compagnie. Il est reconnu par deux grandes organisations

cynologiques : la Fédération Cynologique Internationale (FCI) et l’American Kennel Club (AKC). Les deux organisations définissent des standards spécifiques pour la race, qui, bien qu'en grande partie similaires, présentent quelques différences subtiles. Voici un aperçu détaillé du Berger Allemand selon les standards de la FCI et de l'AKC.

Voici les informations sur le Berger Allemand sous forme de tableau comparant les standards de la FCI et de l'AKC :

Tableau 2 : les différences entre les Standards FCI et AKC du Berger Allemand

Critères	FCI(2019)	AKC(2020)
Origine	Allemagne, développé à la fin du XIXe siècle	Allemagne, introduit aux États-Unis au début du XXe siècle
Groupe	Groupe 1 (chiens de berger et de bouvier)	Groupe des chiens de travail
Taille	Mâles : 60-65 cm, Femelles : 55-60 cm	Mâles : 61-66 cm, Femelles : 56-61 cm
Poids	Mâles : 30-40 kg, Femelles : 22-32 kg	Mâles : 29-41 kg, Femelles : 23-32 kg
Apparence générale	Musclé, corps légèrement plus long que haut	Corps solide, musclé avec une large poitrine
Pelage	Dense, court, long ou semi-long	Dense, court ou long, couleurs : noir, sable, gris
Utilisation	Chien de berger, chien de garde, chien de travail	Chien de service, chien de police, chien-guide

Le Berger Allemand est une race qui présente plusieurs variantes selon son type de travail, son origine géographique, et son éthologie. Bien que la race principale soit bien définie, il existe plusieurs lignes de Bergers Allemands qui diffèrent par leurs caractéristiques physiques et leur tempérament.

4.1. Le Berger Allemand à poil court :

Le Berger Allemand à poil court est la variété la plus répandue et la plus courante de la race. Ce chien présente un pelage dense, court et dur, qui est généralement de couleur noire et fauve, mais peut aussi comporter d’autres nuances. Ce type de Berger Allemand est prisé pour sa capacité à travailler et son apparence nette. Il est utilisé dans divers rôles, tels que les chiens policiers, militaires, et chiens-guides. Ce type est particulièrement apprécié dans les compétitions de travail et les expositions canines (Scott et Fuller, 1965).



Figure 2 : Exemple d'un berger allemand à poils courts (Page officielle des Étalons Berger Allemand LOF Poil Court & Poil Long)

4.2. Le Berger Allemand à poil long :

Le Berger Allemand à poil long est une autre variante qui possède un pelage beaucoup plus long et plus doux. Bien qu'il ait un aspect plus élégant et une apparence parfois plus douce, cette variété a des exigences d'entretien plus élevées en raison de la longueur de son pelage. Le Berger Allemand à poil long est également utilisé dans des fonctions de travail, bien qu'il soit parfois préféré comme chien de compagnie ou de garde en raison de son apparence distincte. Cette variété est rare et est plus courante dans les lignées de beauté ou dans certains élevages spécialisés (Van der Valk et al. 2010).



Figure 3 : Exemple d'un berger allemand à poils longs (Page officielle des Étalons Berger Allemand LOF Poil Court & Poil Long)

4.3. Le Berger Allemand à poil court américain :

Le Berger Allemand à poil court américain fait référence à des chiens élevés principalement aux États-Unis, où les critères de sélection sont parfois plus axés sur les aptitudes au travail. Ce type de Berger Allemand est plus souvent utilisé dans des contextes professionnels, tels que les chiens de recherche et de sauvetage, ou pour des missions de détection. Il peut avoir un tempérament plus nerveux et une énergie plus élevée que certaines autres lignées de Berger Allemand, ce qui le rend particulièrement adapté à des tâches nécessitant une grande activité (Schalke et al. 2005).

4.4. Le Berger Allemand de travail :

Le Berger Allemand de travail désigne généralement les chiens élevés dans un but strictement utilitaire, souvent dans le cadre de la police, de l'armée ou d'autres domaines spécialisés comme les chiens de détection. Ces chiens ont un tempérament plus dynamique et plus indépendant que ceux élevés pour les expositions, ce qui les rend plus aptes à des missions exigeantes. Leur apparence physique peut être moins "idéale" selon les standards de beauté, mais leur aptitude

au travail est primordiale. Les lignées de travail peuvent présenter des traits plus nerveux et plus actifs (Friedrich et al. 2015).



Figure 4 : Exemple d'un berger allemand d'une lignée de travail

4.5. Le Berger Allemand de show :

Le Berger Allemand de show est une variété élevée principalement pour les concours et les expositions. Ces chiens sont sélectionnés selon des critères très stricts qui mettent l'accent sur la forme physique, le comportement calme, et l'aspect visuel, souvent en contraste avec les lignées de travail. Ils sont parfois plus dociles et moins dynamiques que les chiens de travail, mais leur tempérament reste loyal et protecteur, adapté à un environnement familial (Frost, 2009).



Figure 5 : Les différentes lignées du berger allemand

Chapitre IV : Généralités sur la race Berger Allemand

1. Notions historiques

Avant la standardisation de la race, des chiens similaires au berger allemand existaient en Allemagne et dans ses régions rurales. Ces chiens, souvent appelés chiens de berger locaux, étaient utilisés par les agriculteurs pour la conduite et la garde des troupeaux. Ces chiens n'étaient pas une race homogène : leurs caractéristiques physiques et comportementales variaient en fonction des besoins spécifiques de chaque région. Par exemple, certains étaient plus robustes pour protéger les troupeaux contre les prédateurs, tandis que d'autres étaient plus rapides et agiles pour conduire les moutons sur des terrains difficiles.

La révolution industrielle a entraîné une diminution des activités pastorales, mais a également mis en lumière le besoin de chiens plus polyvalents capables de remplir d'autres fonctions, notamment la garde de propriétés et les tâches militaires. C'est dans ce contexte qu'émergea l'idée de standardiser et d'améliorer les chiens de berger existants.

L'histoire moderne du berger allemand commence en 1899, avec l'intervention de Max von Stephanitz, un capitaine de cavalerie passionné par l'amélioration des races de chiens. Convaincu que le chien parfait devait être avant tout un chien de travail, Stephanitz commença à observer et à sélectionner des chiens dans les expositions canines locales. Lors d'un événement, il fut particulièrement impressionné par un chien nommé Hektor Linksrhein, qui possédait des qualités physiques et comportementales remarquables. Stephanitz acheta ce chien, le rebaptisa Horand von Grafath, et l'enregistra comme le premier représentant officiel du berger allemand dans le livre généalogique de la race, créé cette même année.

Horand devint le pilier du programme d'élevage, et Stephanitz mit en place des standards stricts pour assurer que la race conserve ses qualités de travail. Plutôt que de privilégier des critères purement esthétiques, il se concentra sur des caractéristiques telles que l'intelligence, la force, l'endurance et le tempérament.



Figure 6 : Max Emil Friedrich vonStephanitz avec son chien (le premier berger allemand enregistré nommé *HorandvonGrafrath*)

Au début du XXe siècle, le berger allemand s'est rapidement imposé comme une race polyvalente et indispensable. Ses qualités naturelles en faisaient un excellent chien de garde, mais aussi un compagnon exceptionnel pour les travaux les plus exigeants. Pendant la Première Guerre mondiale, la race fut largement utilisée par l'armée allemande comme chien messenger, éclaireur, porteur de fournitures médicales et détecteur de mines. Son calme sous la pression et sa loyauté absolue en faisaient un allié précieux dans les conditions difficiles des champs de bataille.

Après la guerre, les soldats alliés, impressionnés par les capacités de ces chiens, ramenèrent des bergers allemands dans leurs pays respectifs, contribuant à la diffusion de la race à l'international. Cependant, le nom « berger allemand » fut temporairement remplacé par « chien alsacien » dans certains pays, comme la Grande-Bretagne, en raison de la montée des sentiments anti-allemands.

Pendant la Seconde Guerre mondiale, le berger allemand confirma sa place comme l'un des meilleurs chiens de travail militaire. Il fut utilisé par diverses armées pour des missions de recherche, de sauvetage et de défense. Après la guerre, l'intérêt pour la race continua de croître, notamment grâce à des films et séries télévisées mettant en avant des chiens célèbres comme Rin Tin Tin, un berger allemand devenu une icône de la culture populaire.

Avec la popularité croissante de la race, certains éleveurs ont commencé à se concentrer davantage sur les standards esthétiques que sur les aptitudes de travail. Cela a conduit, dans

certains cas, à des problèmes de santé, notamment des troubles articulaires tels que la dysplasie de la hanche, ainsi qu'à une détérioration du tempérament équilibré de certains individus. En réponse à ces préoccupations, des éleveurs responsables ont cherché à réorienter leurs pratiques pour maintenir les qualités fonctionnelles et physiques du berger allemand.

La race est aujourd'hui divisée en deux grandes lignées principales :

La lignée de travail, axée sur les performances physiques et mentales, souvent utilisée dans des rôles comme la police, les secours et les activités sportives (par exemple, le Schutzhund).

La lignée d'exposition, qui met davantage l'accent sur l'apparence physique, avec des caractéristiques spécifiques comme une croupe inclinée.

Aujourd'hui, le berger allemand est reconnu comme l'une des races de chiens les plus polyvalentes au monde. Utilisé comme chien policier, chien militaire, chien-guide pour les personnes malvoyantes, ou encore chien de recherche et de sauvetage, il continue de démontrer son utilité dans des contextes variés. En tant qu'animal de compagnie, il est apprécié pour sa loyauté, son intelligence et son aptitude à s'intégrer à la vie familiale.

2. Couleurs du Berger Allemand

Le Berger Allemand présente une grande variété de couleurs de robe, reconnues officiellement par les standards internationaux tels que ceux de la Fédération Cynologique Internationale (FCI) et de l'American Kennel Club (AKC). Les couleurs du Berger Allemand vont du noir et feu au sable, en passant par des nuances de gris, et sont souvent associées à des motifs distincts tels que des marques de feu ou des zones noires. Ces couleurs sont déterminées génétiquement, et les différentes nuances apportent une grande diversité à cette race tout en restant conformes à l'idéal de travail et d'utilité du chien.

Les couleurs les plus courantes sont :

- A. Noir et feu** : La robe la plus classique et la plus emblématique de la race. Le corps est noir avec des marques de feu (rougeâtre à doré) qui se trouvent principalement sur le visage, les pattes, le poitrail et parfois autour des yeux. C'est la combinaison la plus recherchée pour sa beauté et son caractère distinctif.

- B. Sable** : Le sable est une couleur fréquente chez le Berger Allemand, et cette robe peut aller du sable clair au sable plus foncé, presque gris. La couleur sable présente souvent un mélange de poils noirs et gris, qui confère au chien une apparence uniforme, tout en restant élégante et fonctionnelle.
- C. Noir uni** : Le Berger Allemand noir est une variation moins courante mais est également reconnu par les standards de la race. Ce chien a une robe entièrement noire, sans marques de feu ni autres variations de couleur. Il est particulièrement apprécié pour son aspect majestueux et imposant.
- D. Bicolore** : Les chiens bicolores présentent généralement un corps noir dominant avec des marques de feu limitées, principalement sur les pattes ou autour du visage. Parfois, cette couleur est confondue avec le noir et feu, mais les zones feu sont moins étendues.

Certaines variations de couleur plus rares existent, bien que non officiellement reconnues par les standards :

- a. Blanc** : Bien que des individus totalement blancs existent dans la race, cette couleur n'est pas acceptée par les standards officiels du Berger Allemand. Les chiens blancs sont parfois confondus avec des individus ayant une robe sable très claire, mais cette variation n'est pas autorisée dans les compétitions de beauté.
- b. Bleu** : Le Berger Allemand bleu est très rare et dû à une dilution génétique. Ces chiens présentent une couleur noire atténuée, presque gris-bleu, mais cette couleur n'est généralement pas acceptée par les standards de la race.
- c. Foie (marron chocolat)** : Certains Bergers Allemands peuvent avoir une robe de couleur marron chocolat avec des marques de feu. C'est une variation peu courante et, bien que présente dans la race, elle n'est pas toujours conforme aux critères des concours.

Au niveau des motifs spécifiques, le **masque noir** est une caractéristique assez fréquente. Il désigne une pigmentation foncée sur le museau et autour des yeux, créant un contraste marqué avec le reste de la robe. Cette pigmentation peut également affecter les oreilles et donner un aspect plus déterminé au visage du chien.

Le **manteau noir**, qui est une autre caractéristique fréquente, peut recouvrir certaines zones du corps, comme le dos et les flancs. Ce manteau noir peut être combiné avec des marques de feu ou parfois être isolé, en fonction des lignées spécifiques.

3. Maladies fréquentes chez le Berger Allemand

Des anomalies peuvent survenir chez les chiens de différentes races, voire chez les chiens croisés. Fréquemment, ces problèmes de santé sont invisibles pour la personne ordinaire et ne peuvent être repérés que par des examens vétérinaires et des tests de dépistage.

Le Berger Allemand est une race de chien connue pour son intelligence et sa loyauté, mais comme toutes les races, il est prédisposé à certaines maladies. Voici une liste des maladies fréquemment rencontrées chez le Berger Allemand, avec des références pour chaque point :

3.1. Dysplasie de la hanche : La dysplasie de la hanche est une affection courante chez le Berger Allemand. Elle résulte d'un développement anormal de l'articulation de la hanche, ce qui peut entraîner de l'arthrose. La race est particulièrement prédisposée à cette condition, souvent génétique, mais aussi influencée par des facteurs environnementaux. (Smith, G. K. et al., 2012)

3.2. Dysplasie du coude : La dysplasie du coude est une autre condition articulaire fréquente chez le Berger Allemand. Elle survient lorsque les différentes parties de l'articulation du coude ne se développent pas correctement, provoquant des douleurs et des difficultés à marcher. (Budsberg, S. C. et al., 2010).

3.3. Maladie de vonWillebrand : Il s'agit d'une maladie hémorragique génétique qui affecte la capacité du sang à coaguler normalement. Les chiens atteints de cette maladie peuvent avoir des saignements prolongés ou spontanés, ce qui peut être dangereux. (Haskins, M. E., et al., 2011)

3.4. Spondylose vertébrale : La spondylose est une affection dégénérative des disques intervertébraux qui affecte la colonne vertébrale. Elle peut provoquer de la douleur et des difficultés de mouvement, particulièrement dans les vertèbres lombaires et cervicales. (Kerwin, S. C., et al., 2002).

4. Le Berger Allemand en Algérie

Le berger allemand est présent en Algérie depuis des décennies, on retrouve plusieurs associations qui s'intéressent à cette race dont l'Association Cynologique Algérienne (ACA) qui regroupe toutes les races de chien et ancien partenaire sous contrat avec la Fédération

Cynologique Internationale (FCI), La Société Algérienne du Chien de Berger Allemand (S.A.C.B.A) et L'Association Nationale des Passionnés du Chien Berger Allemand (A.N.P.C.B.A).

4.1. L'Association Cynologique Algérienne (ACA)

L'association Cynologique Algérienne a été fondée en 2017 et restée active jusqu'en 2019 d'après les statistiques mentionnées sur la page officielle de la FCI. Cette association a pour but d'enregistrer toutes les races de chien selon les normes internationales, d'organiser des évènements tels que les expositions, les concours de beauté et autres. Ses activités sont sans but lucratif. Le siège principal de cette association est à Alger sous la présidence de M. Akroum Abdelhafid suite à M. Abdelli Hichem.



Figure 7 : Logo de l'Association Cynologique Algérienne (ACA)

4.2. La Société Algérienne du Chien de Berger Allemand (S.A.C.B.A)

La S.A.C.B.A est la plus grande association nationale du chien de berger allemand en Algérie, fondée entre 1979 et 1980. Le siège est à Sidi Fredj, Staoueli, Alger. Elle est considérée comme la référence primaire de la race pour ses efforts dans la sélection des étalons, la préservation de la race et l'enregistrement des sujets au Livre des origines Algériennes (LOA), cette association organise aussi tous types d'évènements (Expositions nationales, concours de beauté, de travail et de comportement avec la participation de spécialistes locaux et internationaux. Cette association est sans but lucratif.



Figure 8 : Logo de la Société Algérienne du Chien de Berger Allemand (S.A.C.B.A)

4.3. L'Association Nationale des Passionnés du Chien Berger Allemand (A.N.P.C.B.A)

L'A.N.P.C.B.A est une association nationale à caractère non lucratif, régie par la loi 12 – 06 du 12 janvier 2012, relative aux Associations. Présidée par M. B.R.O dont le siège est à Alger. Cette association organise pratiquement les mêmes évènements que la SACBA et veille sur la préservation des lignées du Berger Allemand en Algérie.



Figure 9 : Logo de l'Association Nationale des Passionnés du Chien Berger Allemand (A.N.P.C.B.A)

DEUXIEME PARTIE :
PARTIE
EXPERIMENTALE

MATERIELS ET METHODES

1. Zone d'étude

Notre étude a été réalisée au niveau de deux Wilayas de l'Ouest Algérien dont Tlemcen en (bleu) et Sidi Bel Abbès (en vert) comme représenté par la figure 10 réalisée à l'aide du logiciel R version 4.3.1 pour Windows et en utilisant les packages ("sf" et "ggplot2"). Ces deux Wilayas sont réputées pour l'existence d'éleveurs du chien de berger allemand selon l'association cynologique algérienne.

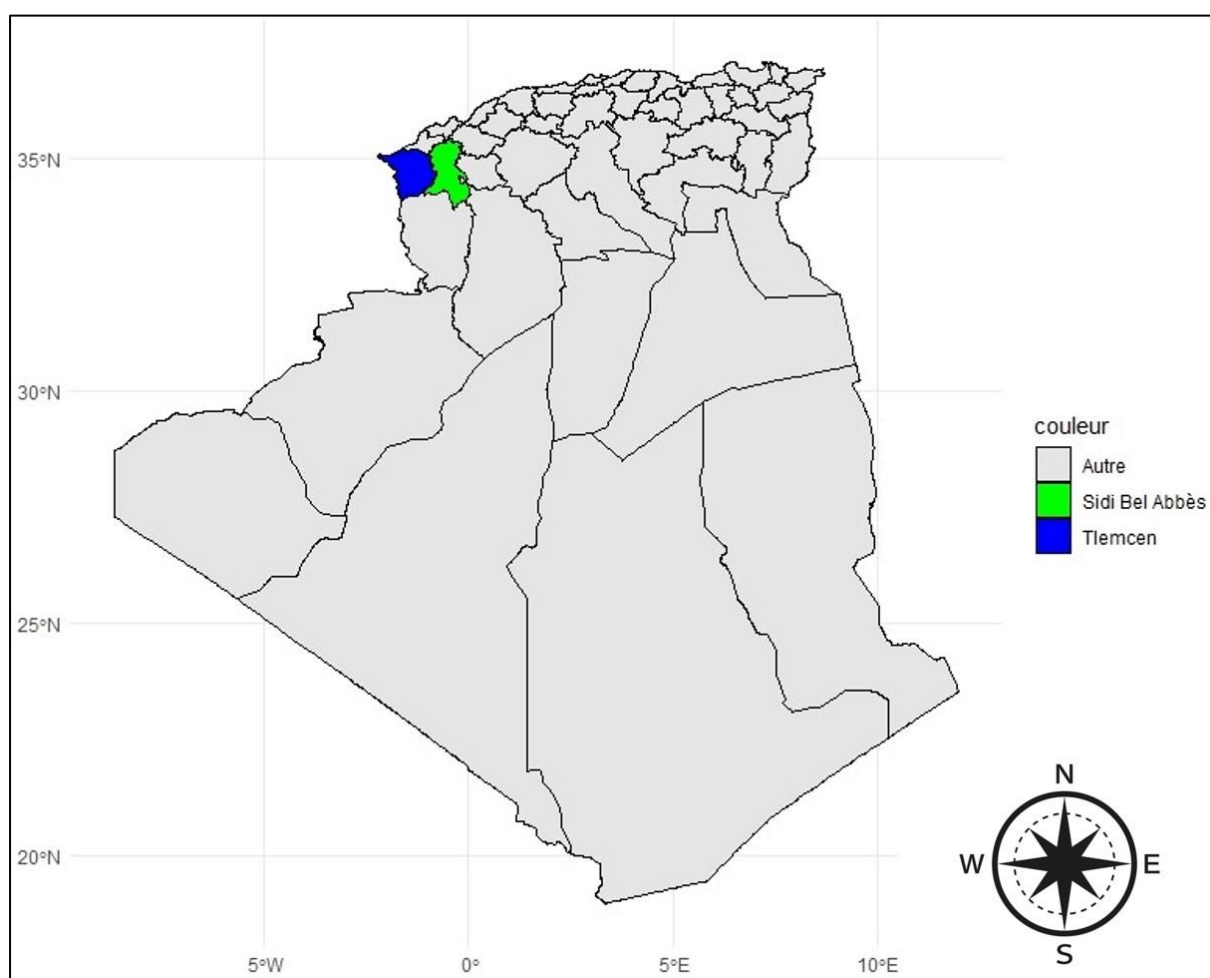


Figure 10 : Carte géographique montrant les sites d'échantillonnage.

2. Populations d'étude

2.1. Choix des animaux

Il est crucial d'assurer une collecte d'échantillons précise et rigoureuse pour analyser les différentes populations animales du point de vue morphologique ou génétique. Un autre élément crucial est la taille de l'échantillon, qui, plus elle est importante, plus les résultats

tendent à être précis. Il est également primordial de considérer la distance géographique pour éviter l'emploi d'individus apparentés, ce qui pourrait conduire à des résultats biaisés.

On recommande généralement d'utiliser un échantillon de 20 à 50 individus pour chaque race ou région. L'effectif d'individus échantillonnés est conditionné par le degré de parenté entre eux. Autrement dit, si les individus sont liés par des liens de parenté, l'effectif peut être diminué, tandis que dans le cas où les individus ne présentent aucun lien de parenté, l'effectif pourrait être augmenté (Nei et Roychoudhury, 1974 ; Nei, 1978). L'usage de zones géographiques variées, comportant un nombre d'individus représentatif de la population en question, a toujours été recommandé par la FAO (Parker et al., 2004).

2.2. Echantillonnage des deux populations

80 chiens (Berger Allemand) ont fait l'objet de cette étude dont 40 males et 40 femelles répartis comme mentionné dans le tableau 3. Tous les chiens étaient âgés entre 30 et 40 Mois, en bonne santé, non apparentés (selon quelques pédigrées) et nous avons eu l'autorisation des propriétaires pour réaliser toutes les manipulations (mensurations et pesée).

Tableau 3 : Origine, sexe et nombre d'individus étudiés

Wilayas	Sexe		
	Males	Femelles	TOTAL
Tlemcen	20	20	40
Sidi Bel Abbès	20	20	40
TOTAL	40	40	80



Figure 11 : Exemple de chiens de Sidi Bel Abbès en plein travail

3. Analyse morphométrique

3.1. Mensurations corporelles et indices corporels

3.1.1. Mensurations corporelles

Notre travail s'inspire des recherches d'autres spécialistes (Valdez & Valencia, 2004 ; Elmaz et al., 2006 ; González et al., 2011 ; Yilmaz & Ertuğrul, 2011 ; Emehelu et al., 2012 ; Oğrak et al., 2014 ; Thuller et al., 2015 ; Cecchi et al., 2015 ; Çelik & Yilmaz, 2018 ; Urosevic et al., 2020a ; Urosevic et al., 2020b ; Özkul et al., 2021 ; Haddam et al., 2021 ; Haddam et al., 2024a ; Haddam et al., 2024b ; Haddam et al., 2024c), ainsi que de normes officielles de chiens définies par la Fédération Cynologique Internationale (FCI) et le American Kennel Club (AKC), ainsi que des témoignages de plusieurs éleveurs concernant le choix approprié des paramètres morphométriques traités dans cette étude.

Onze paramètres morphométriques ainsi que le poids vif ont été utilisés dans la présente étude, ces paramètres sont HG : hauteur au garrot, HC : hauteur de la croupe, LC : longueur du corps, LT : longueur de la tête, LrT : Largeur de la tête, LM : longueur du museau, CTT : circonférence de la tête, LO : longueur des oreilles, CTh : circonférence thoracique, CC : circonférence du canon (poignet), CA : circonférence abdominale, P : Poids, les détails des paramètres sont présentés par la figure 12.

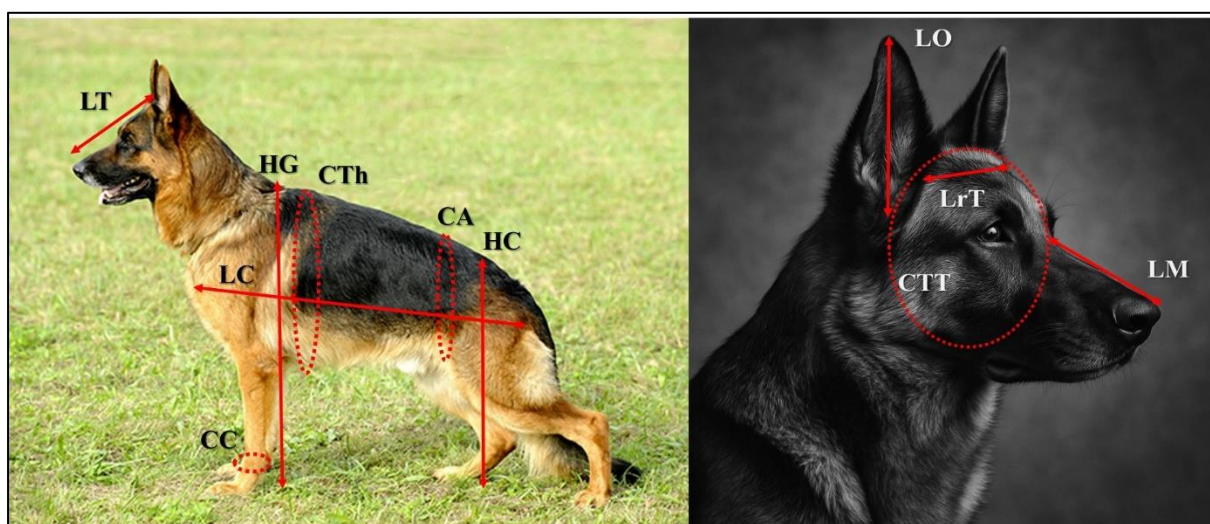


Figure 12 : Les mensurations corporelles utilisées

3.1.2. Indices corporels

Dans la présente recherche, cinq indices corporels ont été calculés et exploités. La sélection de ces indices est liée à diverses études scientifiques sur les chiens (Drobnjak et al. 2010 ; Drobnjak et al. 2012, cités par Oğrak et al., 2014 ; Frąckowiak et al., 2021), ainsi qu'aux normes

officielles établies par la Fédération Cynologique Internationale (FCI) et le American Kennel Club (AKC).

Les équations employées pour déterminer chaque indice sont exposées ci-dessous :

- Indice de profil (IP) = $\frac{HC}{HG} * 100$
- Indice céphalique (CI) = $\frac{LrT}{LT} * 100$
- Indice Corporel (Icr) = $\frac{LC}{HG} * 100$
- Indice tête-museau (ITM) = $\frac{LM}{LT} * 100$
- Indice oreilles-tete (IOT) = $\frac{LO}{LT} * 100$

4. Matériel de mesures

Les dimensions des différentes parties du corps de l'animal ont été prises à l'aide d'une toise pour les hauteurs (au niveau du garrot (**HG**) et de la croupe (**HC**)), d'un mètre ruban pour mesurer la longueur du corps (**LC**), la longueur et la largeur de la tête (**LT** et **LrT**), la longueur du museau (**LM**), celle des oreilles (**LO**), ainsi que les circonférences : celle de la tête (**CTT**), thoracique (**CTh**), abdominale (**CA**) et enfin celle du poignet (**CC**).

La mesure du poids brut des chiens (**P**) a été réalisée avec une balance numérique ayant une précision de ($\pm 100g$).

5. Logiciels

5.1. Microsoft Excel 2016 pour Windows

Microsoft Excel est un programme de tableur conçu pour être utilisé sur divers systèmes d'exploitation tels qu'Android, Mac OS X et Microsoft Windows. Ce programme est couramment employé pour la gestion de bases de données, les opérations financières, la comptabilité et la logistique. Excel propose de multiples fonctionnalités, allant des calculs mathématiques aux représentations graphiques, en passant par l'analyse de données et même la programmation à travers l'utilisation de macros rédigées en langage VBA (www.microsoft.com).

5.2. Logiciel R

R est un logiciel de statistiques élaboré par Ross Ihaka et Robert Gentleman. C'est un langage de programmation et un environnement de développement : les actions sont effectuées en utilisant des commandes écrites dans une syntaxe assez accessible, les résultats sont présentés en texte et les graphiques sont affichés directement dans une fenêtre dédiée. C'est une alternative au logiciel S-plus qui se base sur le langage de programmation orienté objet S, développé par AT&T Bell Laboratories en 1988. Ce logiciel a pour mission de manipuler des données, de produire des diagrammes et de réaliser des analyses statistiques sur ces données. Pour commencer, R est un logiciel open source, c'est-à-dire libre et avec un code source ouvert. Il est compatible avec UNIX (ainsi qu'avec Linux), Windows et Mac. C'est donc un logiciel compatible avec plusieurs plateformes. Il est développé dans la tradition des logiciels libres grâce à une communauté de volontaires passionnés qui continue de grandir. Chaque personne a aussi l'opportunité d'apporter sa contribution à son perfectionnement en intégrant de nouvelles fonctionnalités ou techniques d'analyse qui n'ont pas encore été déployées. Ainsi, c'est un logiciel qui se développe constamment et rapidement. C'est aussi un instrument très puissant et complet, particulièrement conçu pour l'implémentation de méthodes statistiques en informatique (De Micheaux et al., 2011).

6. Analyse Statistique

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du Logiciel R, version 4.3.1 pour Windows après avoir introduit toutes les données sur Excel 2016 et les importer dans R au format CSV.

En premier, tous les paramètres utilisés dans cette études ont été décrits (statistiques descriptives) en utilisant le package *psych*.

Pour étudier l'effet du sexe ainsi que celui de l'environnement sur les paramètres étudiés (Statistiques inférentielles), un test de Kolmogorov-Smirnov a été appliqué afin de vérifier la normalité, ensuite un test de comparaison de moyennes de Mann Whitney a été appliqué.

Afin d'étudier le regroupement des individus en fonction des paramètres morphométrique, une analyse en composantes principales suivie d'une classification hiérarchique sur composantes principales ont été utilisées, et ce en utilisant les packages *FactoMineR* et *factoextra*. Chaque cluster obtenu a été décrit en fonction des variables représentatives, des individus représentatifs, des sexes et des wilayas étudiées.

Dans le but de vérifier la différence entre les mâles et les femelles pour l'ensemble des paramètres morphométriques utilisés, une distance géométrique de Mahalanobis a été calculée, suivi par le test de Hotelling's T^2 pour confirmer la signification statistique de cette distance. Les packages *stats* et *Hotelling* ont été utilisés.

L'étude de la diversité morphométrique entre les mâles et les femelles a été faite en calculant l'indice de Shannon, les données ont été discrétisées puis utilisées pour le calcul, et ce, en utilisant le package *vegan*.

Une étude des corrélations entre les paramètres morphométrique et le poids vif des chiens a été utilisée dans le but de repérer les paramètres qui étaient en corrélation avec le poids vif. Le package *metan* a été utilisé dans le but de construire des cartes thermiques qui facilitent la lecture des corrélations, et ce, en utilisant deux paramètres : la couleur rouge pour le sens positif et la couleur verte pour le sens négatif, l'intensité de la couleur nous permet de repérer la force des corrélations, foncée pour les corrélations fortes et claire pour les corrélations faibles. Le package *metan* a été utilisé.

Une analyse de la régression linéaire multiple a été utilisée dans le but d'obtenir des formules mathématiques pour la prédiction du poids des chiens en fonction des paramètres morphométriques. Plusieurs packages ont été utilisés, *tidyverse*, *caret*, *leaps* et *MASS*.

On a généralement recours au package *tidyverse* pour simplifier la gestion et l'interprétation des données, on utilise *caret* pour un processus de machine learning convivial, *leaps* pour l'analyse de régression pas à pas et enfin le package *MASS* pour sélectionner automatiquement le modèle optimal.

Les modèles obtenus ont été vérifiés s'ils contiennent des autocorrélations en utilisant les packages *car* et *olsrr*.

La vérification de la concordance entre le poids observé et le poids estimé a été testée par la Statistique de Lin en utilisant le package *epiR*.

RESULTATS ET DISCUSSION

Analyses statistiques

1. Statistiques descriptives

La normalité des mensurations corporelles et des indices corporels est présentée par le tableau 4 qui contient les résultats du test de Kolmogorov-Smirnov et les valeurs de probabilité du test.

Tableau 4 : Statistiques de Kolmogorov-Smirnov des paramètres et indices utilisés

Paramètre	Statistique (KS)	p-value
HG	0,083	ns
HC	0,117	**
LC	0,098	ns
LT	0,083	ns
LrT	0,109	*
LM	0,087	ns
CTT	0,136	**
LO	0,086	ns
CTh	0,059	ns
CC	0,071	ns
CA	0,115	*
P	0,096	ns
IP	0,117	**
IC	0,108	*
Icr	0,149	***
ITM	0,100	*
IOT	0,071	ns

HG :hauteur au garrot, **HC** :hauteur de la croupe, **LC** : longueur du corps, **LT** : longueur de la tête, **LrT** : largeur de la tête, **LM** :longueur du museau, **CTT** : circonférence de la tête, **LO** : longueur des oreilles, **CTh** : circonférence thoracique, **CC** : circonférence du poignet, **CA** : circonférence abdominale, **P** : poids, **IP** : indice de profil, **IC** : indice céphalique, **Icr** : indice corporel, **ITM** : indice tête museau, **IOT** : indice oreille tête

Du moment où certaines variables ne suivent pas une distribution normal, des tests de comparaisons non paramétriques seront appliqués pour comparer entre les groupes.

La moyenne, l'écart type, le minimum, le maximum et le coefficient de variation des différentes mensurations corporelles et des indices corporels de l'ensemble des chiens étudiés sont présentés par le tableau .5

Tableau 5 : Statistiques descriptives de la population étudiée

Paramètre	N	Moyenne	ET	Min	Max	CV(%)
HG (cm)	80	60,11	4,36	50,70	67,70	7,25
HC (cm)	80	54,01	4,24	44,80	60,80	7,85
LC (cm)	80	65,97	4,72	53,10	73,80	7,15
LT (cm)	80	24,36	1,39	22,10	27,20	5,71
LrT (cm)	80	12,49	0,85	10,90	14,60	6,81
LM (cm)	80	12,96	0,98	11,20	14,90	7,56
CTT (cm)	80	43,36	1,78	39,80	48,20	4,11
LO (cm)	80	12,44	0,89	10,30	14,10	7,15
CTh (cm)	80	61,70	3,04	52,10	66,70	4,93
CC (cm)	80	11,99	0,88	10,20	14,50	7,34
CA (cm)	80	47,96	3,67	42,10	55,00	7,65
P (kg)	80	31,09	6,79	20,40	43,20	21,84
IP (%)	80	89,85	2,55	74,42	94,23	2,84
IC (%)	80	51,26	1,30	48,28	55,56	2,54
Icr (%)	80	109,78	2,37	98,98	116,14	2,16
ITM (%)	80	53,16	1,93	49,40	61,33	3,63
IOT (%)	80	51,06	2,49	43,28	57,52	4,88

HG :hauteur au garrot, **HC** :hauteur de la croupe, **LC** : longueur du corps, **LT** : longueur de la tête, **LrT** : largeur de la tête, **LM** :longueur du museau, **CTT** : circonférence de la tête, **LO** : longueur des oreilles, **CTh** : circonférence thoracique, **CC** : circonférence du poignet, **CA** : circonférence abdominale, **P** : poids, **IP** : indice de profil, **IC** : indice céphalique, **Icr** : indice corporel, **ITM** : indice tête museau, **IOT** : indice oreille tête

Les résultats du tableau montrent que les chiens étudiés ont des hauteurs au garrot et la croupe d'une moyenne de 60,11 et 54,01 et d'un écart type de 4,36 et 4,24et un rang de 50,70 à 67,70 et 44,80 à 60,80.

La moyenne de la longueur du corps est de 65,97 un rang de 53,10 à 73,80 et un écart type de 4,72 ; une longueur et largeur de la tête de 24,36 et 12,49 un écart type de 1,39 et 0,98 et un rang de 27,20 à 14,60 avec un coefficient de variation de 6,81 et 7,56.

La moyenne de la longueur du museau est de 12,96 avec un écart type de 0,98 ; un rang de 11,20 à 14,90 et un coefficient de variation de 7,56.

La moyenne de la circonférence de la tête est de 43,36 avec un coefficient de variation de 4,11 un rang de 39,80 à 48,20 et un écart type de 1,78.

La moyenne de la longueur des oreilles est de 12,44 avec un écart type de 0,98 un rang de 14,10 à 7,15 et un coefficient de variation de 10,30.

La moyenne de la circonférence thoracique est de 61,70 ; un écart type de 3,04 : un rang de 52,10 à 66,70 et un coefficient de variation de 4,93.

La moyenne de la circonférence du poignet et la circonférence abdominale et de 11,99 et 47,96 un écart type de 0,88 et 3,67 un rang de 10,20 à 14,50 et 42,10 à 55,00 et un coefficient de variation de 7,34 et 7,65

La moyenne du poids est 31,09 un écart type de 6,79 un rang de 20,40 à 43,20 et un coefficient de variation de 21,84

La moyenne de l'indice de profil et l'indice céphalique est de 89,85 et 51,26 avec un écart type de 2,55 et 1,30 le coefficient de variation est de 2,84 et 2,54 et un rang de 74,42 à 94,23 et 48,28 à 55,56

La moyenne de l'indice du corps est de 109,78 avec un écart type de 2,37 ; un rang de 98,98 à 116,14 et un coefficient de variation de 2,16

La moyenne de l'indice tête museau est de 53,16 avec un rang de 49,40 à 61,33 ; un écart type de 1,93 et un coefficient de variation de 3,63 et comme dernier paramètre, l'indice oreilles tête d'une moyenne de 51,06 ; un écart type de 2,49 ; un rang de 42,28 à 57,52 et un coefficient de variation de 4,88.

Ces résultats semblent similaires aux normes du standard international de la race.

2. Statistiques inférentielles

2.1. Effet du sexe sur les mensurations et indices corporels

Les résultats de l'effet du sexe sur les mensurations et indices corporels (Mann-Whitney) sont présentés par le tableau 6.

Tableau 6 : Effet du sexe sur les mensurations et les indices corporels

Paramètres	Males (N = 40)		Femelles (N = 40)		p-value
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	
HG	63,64	2,27	56,57	2,76	***
HC	57,39	2,02	50,64	3,00	***

LC	69,71	2,21	62,23	3,40	***
LT	25,33	1,07	23,40	0,94	***
LrT	13,06	0,71	11,93	0,54	***
LM	13,71	0,62	12,21	0,64	***
CTT	44,63	1,24	42,09	1,25	***
LO	12,86	0,95	12,01	0,58	***
CTh	63,24	2,50	60,16	2,77	***
CC	12,33	0,95	11,66	0,66	***
CA	50,92	2,43	45,01	1,87	***
P	36,39	4,40	25,79	4,06	***
IP	90,18	1,64	89,52	3,20	ns
IC	51,55	1,06	50,96	1,46	*
Icr	109,55	1,04	110,01	3,19	ns
ITM	54,14	0,78	52,18	2,23	***
IOT	50,75	2,61	51,36	2,35	ns

HG :hauteur au garrot, **HC** :hauteur de la croupe, **LC** : longueur du corps, **LT** : longueur de la tête, **LrT** : largeur de la tête, **LM** :longueur du museau, **CTT** : circonférence de la tête, **LO** : longueur des oreilles, **CTh** : circonférence thoracique, **CC** : circonférence du poignet, **CA** : circonférence abdominale, **P** : poids, **IP** : indice de profil, **IC** : indice céphalique, **Icr** : indice corporel, **ITM** : indice tête museau, **IOT** : indice oreille tête

D'après le tableau, il existe différents degrés de signification qui montrent la différence entre les mâles et les femelles, cette différence est très hautement significative ($p < 0.001$) pour la majorité des paramètres mesurés, notamment la hauteur au garrot (HG), la hauteur de la croupe (HC), la longueur du corps (LC), la longueur de la tête (LT), la largeur de la tête (LrT), la longueur du museau (LM), la circonférence thoracique (CTT), la longueur des oreilles (LO), la circonférence de la cuisse (CTh), la circonférence du cou (CC), la circonférence de l'avant-bras (CA), le poids (P) et l'indice thoraco-métacarpe (ITM). Pour tous ces paramètres, les valeurs moyennes sont systématiquement plus élevées chez les mâles que chez les femelles. La différence est significative ($p < 0.05$) pour l'indice corporel (IC) avec des valeurs de 51,55 chez les mâles contre 50,96 chez les femelles. Bien que cette différence soit moins prononcée que pour les autres paramètres, elle demeure statistiquement significative. Par contre, il n'y avait aucune différence significative ($p > 0.05$) entre les mâles et les femelles pour trois paramètres : l'indice de profil (IP), l'indice corporel (Icr) et l'indice oreille-tête (IOT). Ces indices, qui représentent des rapports entre différentes mesures, semblent donc être conservés entre les sexes malgré les différences dans les mesures absolues.

Ces résultats confirment que le dimorphisme sexuel est présent de manière prononcée dans cette race Berger Allemand étudiée. Les mâles présentent généralement des dimensions corporelles plus importantes que les femelles pour presque tous les paramètres mesurés, ce qui est cohérent avec le dimorphisme sexuel observé chez la grande majorité des races de chiens. Ce phénomène de dimorphisme sexuel est très commun chez les chiens, comme en témoignent de nombreuses études. Par exemple, chez le braque italien, d'après une étude menée par Cecchi et al. (2015), les mâles avaient des traits plus développés que ceux des femelles. Des résultats similaires ont été rapportés par Oğrak et al. (2014) chez la race Tarsus Catalburun turque, ainsi que chez le Tazi Turc d'après les études d'Urosevic et al. (2020a) et celle de Yilmaz et Ertuğrul (2011). Chez le chien de berger turc (Akbash), les femelles étaient également moins grandes que les mâles (Urosevic et al. 2020b). Thuller et al. (2015) ont montré que chez le labrador, les mâles présentaient aussi certains traits plus développés que les femelles, bien que la différence soit moins généralisée. Cette différence morphologique entre mâles et femelles pourrait être attribuée aux effets de la testostérone et de ses métabolites lors de la phase de croissance des chiens, comme c'est le cas chez de nombreux animaux domestiques tels que les ovins, caprins et porcins (Joe Ford et Klindt, 1989). Les hormones sexuelles jouent en effet un rôle déterminant dans le développement musculo-squelettique, ce qui explique les différences observées.

La comparaison morphométrique entre le Sloughi et le Berger Allemand met en évidence des différences marquées liées à leur spécialisation fonctionnelle. Le Sloughi, lévrier de type oriental, présente une silhouette longiligne caractérisée par une hauteur au garrot et une longueur de tête supérieure à celles du Berger Allemand, ainsi qu'un poids significativement plus faible. Ces caractéristiques, associées à des indices de profil (IP) et tête-nuque (IOT) plus élevés, traduisent une conformation adaptée à la vitesse et à l'endurance en milieu désertique. En revanche, le Berger Allemand affiche une morphologie plus trapue, avec un tronc plus long, une tête plus large et des circonférences thoraciques et abdominales bien développées, ce qui reflète une sélection orientée vers la puissance et la polyvalence fonctionnelle (garde, pistage, défense). De plus, les différences entre sexes sont plus accentuées chez le Berger Allemand, notamment pour le poids et la circonférence du poignet, confirmant un fort dimorphisme sexuel. Ainsi, la diversité morphologique observée entre ces deux races illustre l'impact de la sélection humaine selon les fonctions recherchées, que ce soit la vitesse pour le Sloughi ou la robustesse et l'endurance pour le Berger Allemand.

2.2. Effet de l'environnement sur les mensurations et indices corporels

Les résultats de l'effet de l'environnement sur les mensurations et indices corporels (Mann-Whitney) sont présentés par le tableau 7.

Tableau 7 : Effet de l'écotype sur les mensurations et les indice corporels

Paramètres	TLM (N = 40)		SBA (N = 40)		p-value
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	
HG	60,23	3,98	59,98	4,75	ns
HC	54,14	4,07	53,89	4,45	ns
LC	65,85	4,68	66,08	4,81	ns
LT	24,38	1,31	24,35	1,49	ns
LrT	12,43	0,76	12,55	0,94	ns
LM	12,97	0,99	12,95	0,98	ns
CTT	43,37	1,50	43,36	2,03	ns
LO	12,47	0,81	12,41	0,98	ns
CTh	62,10	2,35	61,30	3,59	ns
CC	11,99	0,73	11,99	1,02	ns
CA	47,91	3,73	48,02	3,66	ns
P	31,05	6,34	31,13	7,29	ns
IP	89,88	3,09	89,83	1,90	ns
IC	50,99	1,09	51,52	1,45	*
Icr	109,32	2,91	110,23	1,58	ns
ITM	53,15	1,86	53,17	2,02	ns
IOT	51,18	2,46	50,94	2,54	ns

HG :hauteur au garrot, **HC** :hauteur de la croupe, **LC** : longueur du corps, **LT** : longueur de la tête, **LrT** : largeur de la tête, **LM** :longueur du museau, **CTT** : circonférence de la tête, **LO** : longueur des oreilles, **CTh** : circonférence thoracique, **CC** : circonférence du poignet, **CA** : circonférence abdominale, **P** : poids, **IP** : indice de profil, **IC** : indice céphalique, **Icr** : indice corporel, **ITM** : indice tête museau, **IOT** : indice oreille tête

Nous remarquons d'après ce tableau les deux écotypes présentent des valeurs très proches pour ces mesures, sans différence statistiquement significative pour les paramètres notamment la hauteur au garrot (HG), la hauteur de la croupe (HC), la longueur du corps (LC), la longueur de la tête (LT), la largeur de la tête (LrT), la longueur du museau (LM), la circonférence de la tête (CTT), la longueur des oreilles (LO), la circonférence thoracique (CTh), la circonférence du poignet (CC), la circonférence abdominale (CA), le poids (P) , l'indice de profil (IP), l'indice

corporel (Icr) et indice oreille-tête (IOT), l'indice tête-museau (ITM) . Cela indique que l'écotype n'affecte pas ces mensurations ou indices.

Seul l'indice corporel (IC) présente une différence significative entre TLM ($50,99 \pm 1,09$) et SBA ($51,52 \pm 1,45$). Cela suggère que l'écotype influence spécifiquement cet indice corporel.

Donc la majorité des paramètres mesurés (mensurations corporelles et indices), il n'existe aucune différence statistiquement significative entre les deux écotypes, seul l'indice céphalique "IC" montre une différence significative entre les deux groupes suggérant que l'écotype influence cet indice spécifique.

L'analyse comparative entre les races Sloughi et Berger Allemand met en évidence des différences morphologiques significatives, reflétant leurs fonctions et origines distinctes. Le Sloughi, lévrier originaire d'Afrique du Nord, présente une conformation fine et allongée, avec des hauteurs au garrot (HG), longueurs de tête (LT), et indices de profil (IP) généralement plus élevés, notamment chez les sujets de la région Est. Cette morphologie est typique des chiens de course en milieu désertique, optimisée pour la vitesse et l'endurance.

En comparaison, le Berger Allemand, évalué selon deux écotypes (TLM et SBA), présente une morphologie plus compacte et musclée, avec des poids moyens nettement supérieurs (≈ 31 kg vs 20–22 kg chez le Sloughi) et des circonférences thoraciques (CTh) plus importantes. Ces traits traduisent une sélection orientée vers la puissance, la polyvalence fonctionnelle et la résistance.

Sur le plan des indices corporels, le Sloughi montre une plus grande variabilité interrégionale, notamment pour l'indice céphalique (CI), l'indice de profil (IP) et l'indice tête-museau (ITM), tandis que le Berger Allemand affiche une stabilité morphométrique, avec un indice céphalique (Icr) plus élevé, indiquant une tête plus large adaptée à ses fonctions de travail.

En somme, cette étude met en évidence une divergence morfo-fonctionnelle nette entre les deux races : le Sloughi, adapté à la course et à la chasse en terrains ouverts, et le Berger Allemand, sélectionné pour sa robustesse, son endurance et ses aptitudes utilitaires. Les variations régionales chez le Sloughi pourraient refléter une adaptation environnementale ou une diversité génétique intra- raciale encore peu standardisée.

2.3. Effet de l'environnement sur les mensurations et indices corporels des males

Les résultats de l'effet de l'environnement et du sexe (Males) sur les mensurations et indices corporels (Mann-Whitney) sont présentés par le tableau 8.

Tableau 8 : Effet de la région sur les chiens de sexe masculin

Paramètres	Males TLM		Males SBA		p-value
	N=20		N=20		
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	
HG	63,52	2,04	63,77	2,53	ns
HC	57,52	1,73	57,25	2,31	ns
LC	69,60	1,82	69,82	2,58	ns
LT	25,36	0,87	25,30	1,27	ns
LrT	12,98	0,53	13,15	0,85	ns
LM	13,80	0,52	13,63	0,71	ns
CTT	44,54	0,70	44,72	1,62	ns
LO	12,91	0,83	12,82	1,08	ns
CTh	63,31	2,18	63,18	2,83	ns
CC	12,25	0,78	12,41	1,12	ns
CA	51,16	1,83	50,67	2,94	ns
P	35,98	4,16	36,80	4,70	ns
IP	90,58	1,49	89,79	1,73	ns
IC	51,16	0,94	51,94	1,05	**
Icr	109,60	1,18	109,50	0,91	ns
ITM	54,39	0,66	53,89	0,82	ns
IOT	50,88	2,30	50,62	2,95	ns

HG :hauteur au garrot, **HC** :hauteur de la croupe, **LC** : longueur du corps, **LT** : longueur de la tête, **LrT** : largeur de la tête, **LM** :longueur du museau, **CTT** : circonférence de la tête, **LO** : longueur des oreilles, **CTh** : circonférence thoracique, **CC** : circonférence du poignet, **CA** : circonférence abdominale, **P** : poids, **IP** : indice de profil, **IC** : indice céphalique, **Icr** : indice corporel, **ITM** : indice tête museau, **IOT** : indice oreille tête

Le tableau présenté montre une analyse comparative des mensurations et indices corporels entre deux écotypes de bergers allemands mâles : TLM (N=20) et SBA (N=20). Les deux écotypes males présentent des mensurations très similaires pour la grande majorité des paramètres corporels mesurés :la hauteur au garrot (HG), la hauteur de la croupe (HC), la longueur du corps (LC), la longueur de la tête (LT), la largeur de la tête (LrT), la longueur du museau (LM), la circonférence de la tête (CTT), la longueur des oreilles (LO), la circonférence

thoracique (CTh), la circonférence du poignet (CC), la circonférence abdominale (CA), le poids (P), l'indice de profil (IP), l'indice corporel (Icr) et indice tête-nuque (IOT), l'indice tête-museau (ITM)

L'indice céphalique (IC) est le seul paramètre où une différence statistiquement significative est observée. Les mâles SBA ont un IC légèrement supérieur à celui des mâles TLM. Cela peut traduire une différence dans la proportionnalité du corps ou la compacité entre les deux écotypes, même si cette différence reste faible en valeur absolue.

D'après nos résultats, la quasi-totalité des paramètres mesurés (HG, HC, LC, LT, LrT, LM, CTT, LO, CTh, CC, CA, P, IP, Icr, ITM, IOT), il n'y a pas de différence significative entre les deux écotypes. Une seule différence significative est observée : l'indice céphalique (IC), avec une p-value indiquée par « ** ». Cela signifie que l'IC diffère significativement entre les mâles TLM ($51,16 \pm 0,94$) et SBA ($51,94 \pm 1,05$).

2.4. Effet de l'environnement sur les mensurations et indices corporels des Femelles

Les résultats de l'effet de l'environnement et du sexe (Femelles) sur les mensurations et indices corporels (Mann-Whitney) sont présentés par le tableau 8.

Tableau 9 : Effet de la région sur les chiens de sexe féminin

Paramètres	Femelles TLM		Femelles SBA		p-value
	N=20		N=20		
	Moyenne	ET	Moyenne	ET	
HG	56,95	2,38	56,20	3,12	ns
HC	50,76	2,65	50,52	3,39	ns
LC	62,11	3,50	62,34	3,39	ns
LT	23,40	0,85	23,41	1,04	ns
LrT	11,89	0,52	11,96	0,58	ns
LM	12,14	0,55	12,28	0,72	ns
CTT	42,19	1,11	42,00	1,40	ns
LO	12,03	0,50	12,00	0,66	ns
CTh	60,90	1,87	59,42	3,33	ns
CC	11,74	0,60	11,57	0,72	ns
CA	44,66	1,72	45,36	1,99	ns

P	26,12	3,77	25,46	4,40	ns
IP	89,18	4,05	89,86	2,09	ns
IC	50,82	1,23	51,11	1,68	ns
Icr	109,05	3,98	110,96	1,79	ns
ITM	51,90	1,83	52,46	2,58	ns
IOT	51,48	2,65	51,25	2,07	ns

HG :hauteur au garrot, **HC** :hauteur de la croupe, **LC** : longueur du corps, **LT** : longueur de la tête, **LrT** : largeur de la tête, **LM** :longueur du museau, **CTT** : circonférence de la tête, **LO** : longueur des oreilles, **CTh** : circonférence thoracique, **CC** : circonférence du poignet, **CA** : circonférence abdominale, **P** : poids, **IP** : indice de profil, **IC** : indice céphalique, **Icr** : indice corporel, **ITM** : indice tête museau, **IOT** : indice oreille tête

D'après ce tableau, L'écotype n'a pas d'effet significatif, Toutes les p-values sont indiquées comme « ns » (non significatif). Cela signifie qu'il n'existe aucune différence statistiquement significative entre les deux écotypes de femelles Berger Allemand pour l'ensemble des paramètres mesurés, la hauteur au garrot (HG), la hauteur de la croupe (HC), la longueur du corps (LC), la longueur de la tête (LT), la largeur de la tête (LrT), la longueur du museau (LM), la circonférence de la tête (CTT), la longueur des oreilles (LO), la circonférence thoracique (CTh), la circonférence du poignet (CC), la circonférence abdominale (CA), le poids (P), l'indice de profil (IP), l'indice corporel (Icr) et indice tête-nuque (IOT), l'indice tête-museau (ITM) l'indice céphalique (IC).

Cela suggère que, du point de vue morphologique, les deux écotypes de femelles Berger Allemand sont homogènes.

3. Analyses multivariées

Afin de distinguer les différents chiens étudiés selon leurs mensurations corporelles et d'examiner la possible existence de plusieurs variétés de Berger Allemand en Algérie, une analyse en composantes principales suivie d'une classification hiérarchique sur les composantes principales a été réalisée.

3.1. Analyse en composantes principales et classification hiérarchique sur composantes principales

En général, l'analyse se concentre sur les premières composantes principales, car elles permettent de dégager les principales tendances présentes dans les données. La figure ci-dessous présente les résultats relatifs à la variance totale expliquée.

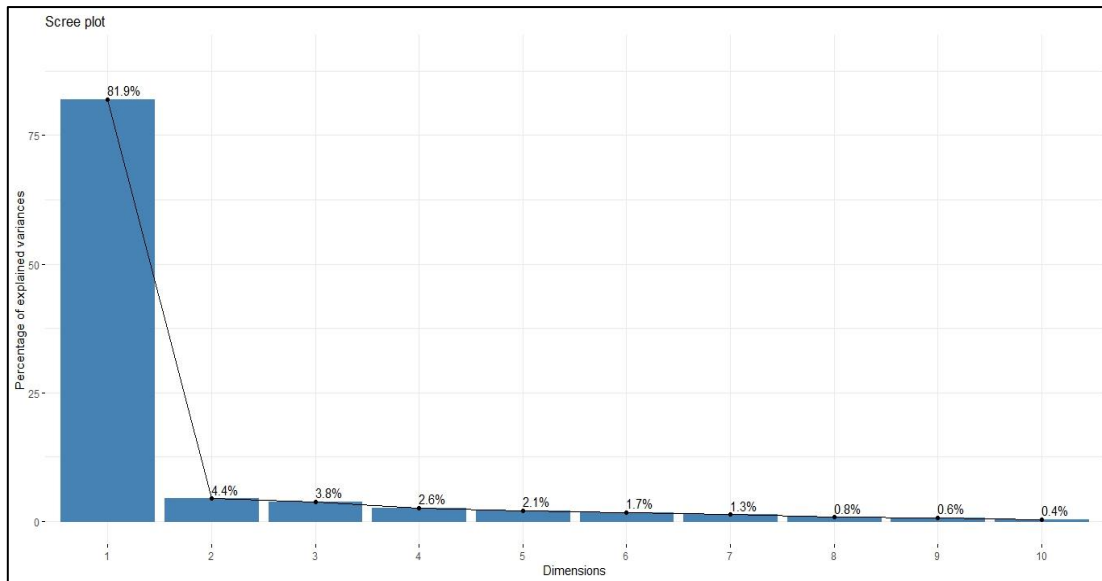


Figure 13 : Pourcentage de la variance expliquée par ACP

D'après la figure 13, les deux premières dimensions de l'ACP expriment 86,3 % de l'inertie totale, avec 81,9 % pour la dimension 1 et 4,4 % pour la dimension 2. Cela montre que la première dimension résume à elle seule l'essentiel de la variabilité présente dans les données, tandis que la seconde dimension apporte une contribution beaucoup plus faible. Les dimensions suivantes expliquent chacune moins de 4 % de l'inertie, ce qui indique qu'elles apportent peu d'information supplémentaire. Il est donc pertinent de concentrer l'analyse et l'interprétation principalement sur les deux premières dimensions

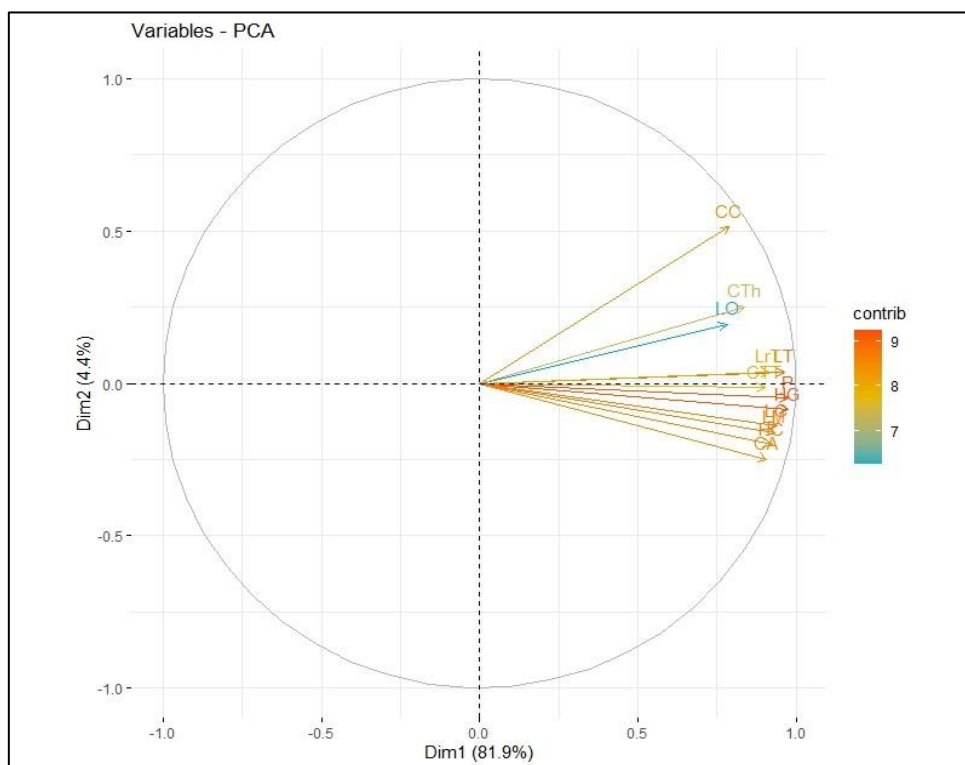


Figure 14 : Cercle des corrélations de l'ACP

Les résultats de la figure 14, représentant le cercle des corrélations de l'ACP, montrent que les vecteurs sont répartis en deux groupes, le premier est constitué de CC, CTh et LO, le deuxième est constitué de tout le reste des paramètres. Les vecteurs les mieux représentés sont ceux du deuxième groupe vu leur proximité au périmètre du cercle. Dans le deuxième groupe, le vecteur LO est relativement peu représenté (en bleu). Ces bonnes représentations affichent une couleur allant du jaune à l'orange, indiquant une forte contribution à la construction des axes principaux. À l'inverse, les vecteurs les moins bien représentés sont ceux situés plus près du centre, avec une couleur plus claire, ce qui traduit une contribution moindre à la structuration des dimensions principales.

On observe que l'ensemble des variables morphométriques (hauteur au garrot HG, hauteur de la croupe HC, longueur du corps LC, longueur de la tête LT, largeur de la tête LrT, longueur du museau LM, circonférence de la tête CTT, circonférence abdominale CA, poids P, indice de profil IP, indice céphalique Icr, indice tête-nuque IOT et indice tête-museau ITM) sont fortement corrélées positivement entre elles, car leurs vecteurs sont orientés dans la même direction, proches de l'axe Dim1 (81,9%). Cela indique que ces caractères traduisent une même dimension morphologique, probablement liée à la taille ou au développement corporel général.

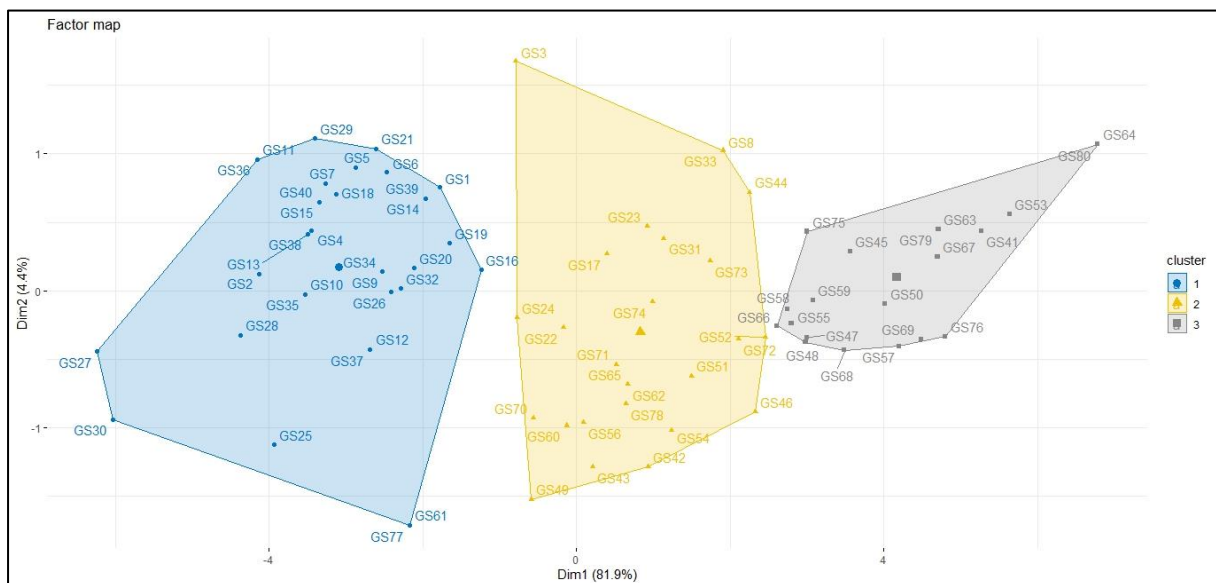


Figure 15 : carte factorielle des individus après ACP

La carte factorielle de la figure 15 illustre la répartition de chiens Berger Allemand selon les deux premières dimensions d'une Analyse en Composantes Principales (ACP), qui expliquent ensemble 86,3 % de la variabilité totale. Malgré leur appartenance à une même race, les individus sont clairement divisés en trois groupes distincts (clusters), révélant une variabilité interne importante.

Le cluster 1 (bleu) regroupe des chiens aux profils similaires, probablement distincts sur des critères physiques, comportementaux ou génétiques spécifiques.

Le cluster 2 (jaune) est plus central et plus dispersé, suggérant une plus grande diversité parmi ses membres.

Le cluster 3 (gris) forme un groupe plus homogène, bien séparé des deux autres.

Cette classification met en évidence l'hétérogénéité intra-race chez les Bergers Allemands, possiblement liée à des lignées différentes ou à des origines géographiques variées (TLM et SBA)

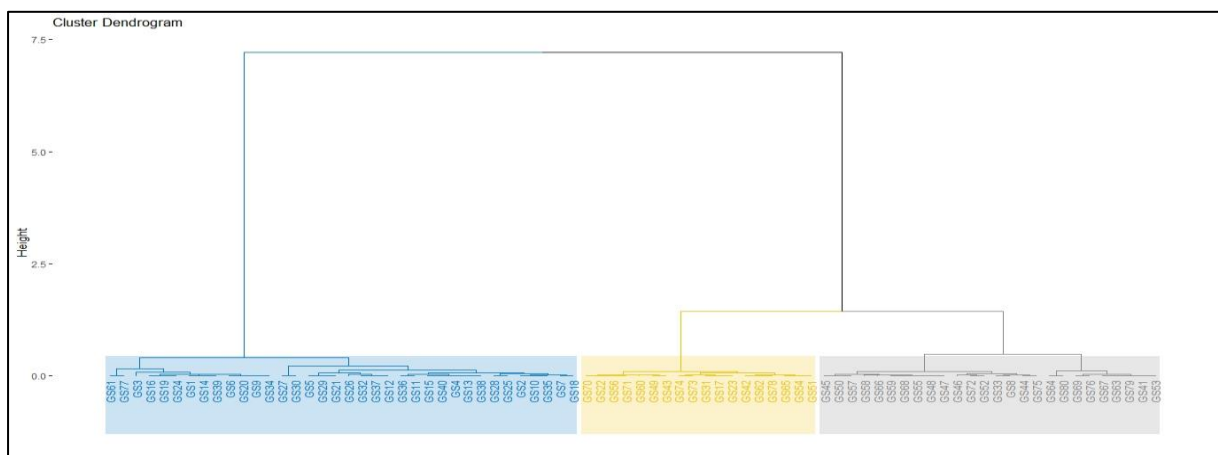


Figure 16 : Dendrogramme des individus en fonction de leur cluster

D'après les figures présentées (15 et 16), la classification des chiens de race Berger Allemand a permis d'identifier trois classes distinctes à partir d'une analyse en composantes principales (ACP) suivie d'une classification hiérarchique.

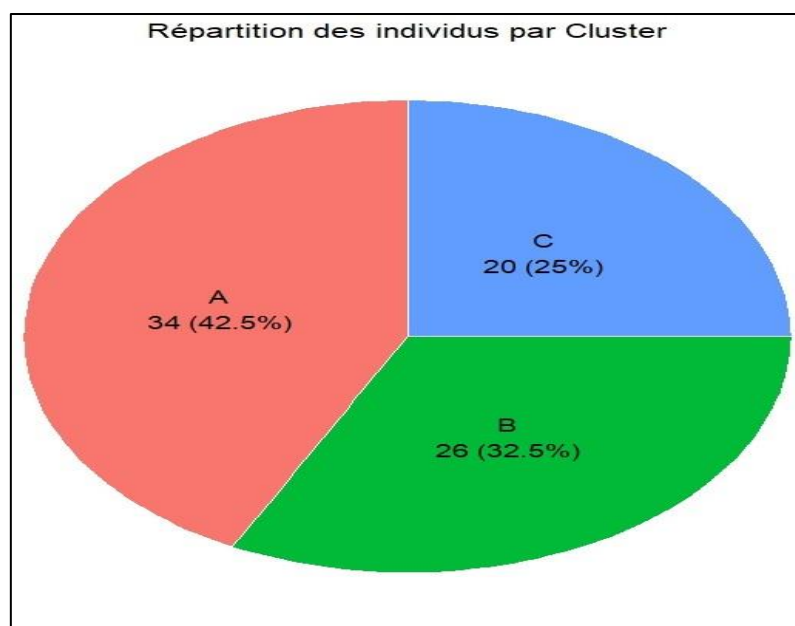


Figure 17 : Répartition des chiens par cluster

La figure 17 présente un diagramme circulaire (camembert) illustrant la répartition de chiens de la race Berger Allemand en trois groupes distincts, appelés clusters : A, B et C.

Cluster A, représente la plus grande proportion avec 34 individus, soit 42,5 % de l'ensemble, cela indique qu'une majorité des Bergers Allemands de l'échantillon partagent des caractéristiques communes qui les rassemblent dans ce groupe. Cluster B Comprend 26 individus, soit 32,5 %. Ce groupe constitue une part significative de la population, mais reste moins important que le cluster A. Cluster C regroupe 20 individus, soit 25 %. C'est le plus petit groupe en termes d'effectif.

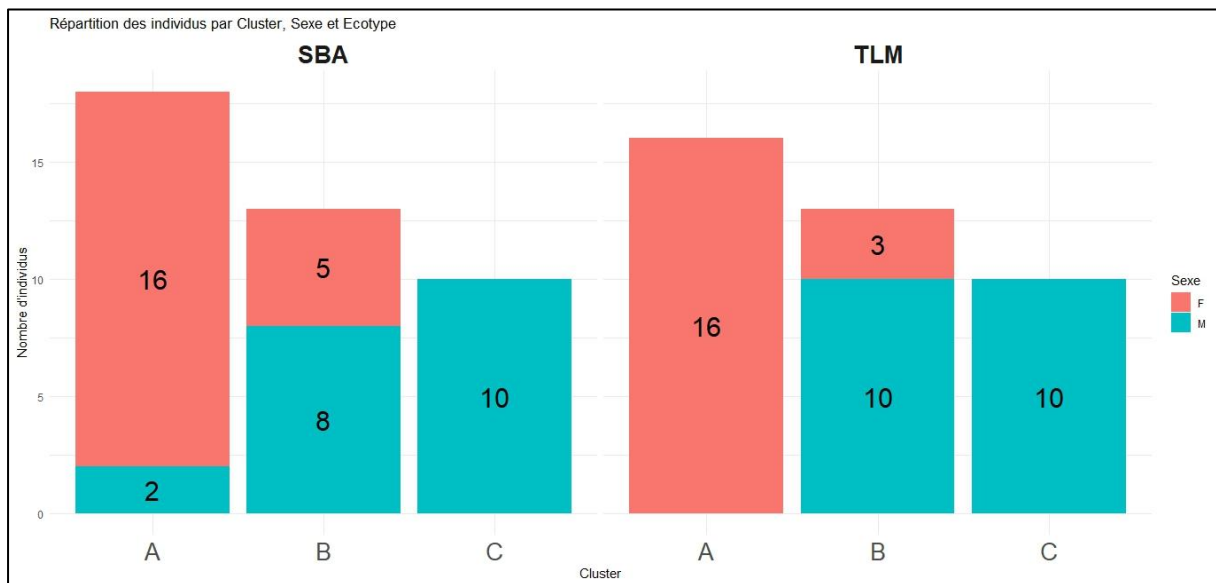


Figure 18 : la répartition des individus par cluster, sexe et écotype

Selon la figure 18, le cluster A est dominé par les femelles dans les deux localités (TLM et SBA), le cluster B dans les deux régions est majoritairement masculin, le cluster C est exclusivement masculin dans les deux régions.

Les écotypes SBA et TLM présentent une répartition des sexes différents selon les clusters, ce qui pourrait indiquer une structure de population différenciée et préférences génétique propres à chaque zone

Tableau 10 : Détails des caractéristiques morphométriques de chaque classe

Paramètres	Cluster		
	1 (A)	2 (B)	3 (C)
HG	55.88 ± 2.35	61.45 ± 1.40	65.54 ± 1.06
HC	50.00 ± 2.24	55.53 ± 2.47	58.85 ± 1.21

LC	61.34 ± 2.84	67.82 ± 1.52	71.43 ± 1.04
LT	23.06 ± 0.51	24.62 ± 0.54	26.25 ± 0.56
LrT	11.76 ± 0.39	12.56 ± 0.33	13.65 ± 0.46
LM	12.06 ± 0.55	13.18 ± 0.38	14.19 ± 0.43
CTT	41.61 ± 0.64	44.32 ± 0.68	45.08 ± 1.38
LO	11.83 ± 0.67	12.43 ± 0.67	13.47 ± 0.38
CTh	59.42 ± 2.43	61.97 ± 1.77	65.22 ± 1.27
CC	11.41 ± 0.6	12.07 ± 0.65	12.88 ± 0.77
CA	44.53 ± 1.48	49.17 ± 2.09	52.22 ± 2.07
P	24.61 ± 3.10	32.53 ± 1.79	40.21 ± 2.31

HG :hauteur au garrot, **HC** :hauteur de la croupe, **LC** : longueur du corps, **LT** : longueur de la tête, **LrT** : largeur de la tête, **LM** :longueur du museau, **CTT** : circonférence de la tête, **LO** : longueur des oreilles, **CTh** : circonférence thoracique, **CC** : circonférence du poignet, **CA** : circonférence abdominale, **P** : poids, **IP** : indice de profil

D'après les résultats du tableau présenté, nous constatons que les chiens de la classe 1 présentent des valeurs morphométriques généralement inférieures à celles des classes 2 (B) et 3 (C) pour la majorité des paramètres étudiés. Par exemple, la hauteur au garrot (HG), la hauteur de la croupe (HC), la longueur du corps (LC), ainsi que le poids (P) augmentent progressivement de la classe 1 à la classe 3. Cette progression est également observée pour d'autres mesures telles que la circonférence thoracique (CTh) et la circonférence abdominale (CA).

Les différences entre les classes sont particulièrement significatives pour les paramètres mis en surbrillance (colonnes en rose), ce qui indique que la classification obtenue est statistiquement très significative ($p < 0,05$ ou $p < 0,001$ selon le test utilisé). Cela valide la pertinence de cette segmentation morphométrique.

Remarque :

Les paramètres en rose dans le tableau sont ceux pour lesquels les différences entre classes sont statistiquement significatives.

Les paramètres en blanc ne présentent pas de différence significative entre les classes.

Les individus (chiens) qui représentent le mieux chaque cluster sont présentés par le tableau qui suit

Tableau 11 : Détails des meilleurs individus représentatifs de chaque cluster

Cluster	ID	Sexe	DCC	Ecotype
1	GS13	F	0.5378573	TLM
	GS38	F	0.5378573	SBA
	GS9	F	0.5635536	TLM
	GS34	F	0.5635536	SBA
	GS24	F	0.6838544	SBA
2	GS74	M	0.2717581	SBA
	GS62	M	0.6424227	SBA
	GS78	M	0.6424227	SBA
	GS65	M	0.6819017	SBA
	GS31	F	0.7466494	SBA
3	GS50	M	0.4128163	TLM
	GS57	M	0.5237867	TLM
	GS69	M	0.5598989	SBA
	GS67	M	0.6223880	SBA
	GS63	M	0.6536012	SBA

ID : identifiant, **DCC** : distance du centre de la classe

Nous pouvons déduire du tableau 11 que les 5 chiens femelles représentent le mieux la classe 1, la femelle GS13 de la Wilaya de Tlemcen et la femelle GS38 de la Wilaya de Sidi Belabbes sont les individus qui représentent le mieux cette classe sont ceux avec une distance de 0,5378573 du centre de la classe.

La classe 2 est représenté par 5 chiens avec 4 males et 1 femelle, le male GS74 de la Wilaya de Sidi Belabbes, est l'individu qui représente le mieux cette classe avec une distance de 0.2717581 du centre de la classe.

La classe 3 est représentée par 5 chiens dont tous des femelles. Le meilleur individu qui représente cette classe est le GS50 de la Wilaya de Tlemcen avec une distance de 0.4128163 du centre de la classe.

4. Etude de la distance géométrique (Mahalanobis) et de la différence morphologique entre les mâles et les femelles (Indice de Shannon)

Afin de vérifier la différence entre les mâles et les femelles en utilisant la moyenne de l'ensemble des paramètres étudiés à la fois (extension du test de comparaison de Student ou Mann Whitney), nous avons calculé la distance de Mahalanobis entre le groupe des mâles et le groupe des femelles. Les résultats de ce calcul (distance de Mahalanobis, valeur du test de Hotelling's T^2 , la statistique de Fisher ainsi que la valeur de probabilité) sont présentés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Distance de Mahalanobis entre les mâles et les femelles

Males/Femelles	DM	VHT	FSE	p-value
	4.64	430.63	30.82	1.263e-22

DM : Distance de Mahalanobis, VHT : valeur du test, FSE : Valeur du test de Fisher, P : Probability.

D'après les résultats du tableau 12, il existe une différence très hautement significative entre le groupe des mâles et celui des femelles, et ce, en utilisant les 12 paramètres étudiés avec une distance de 4.64, une valeur du test de Hotelling's T^2 de 430.63, une valeur de la statistique de Fisher de 30.82 avec une valeur de probabilité de 1.263e-22. Biologiquement, cette différence est due aux effets hormonaux tels que la testostérone lors de la croissance des individus. (FN Gouvêa · 2021 ; Acromegaly in dogs and cats, Annales d'endocrinologie).

Quant à la diversité morphologique et sa différence entre les mâles et les femelles (tous les paramètres étudiés), l'indice de diversité de Shannon a été calculé chez les mâles et chez les femelles pour tous les paramètres étudiés. Les résultats de ce calcul sont représentés par la figure 19 et le tableau 13 ci-dessous.

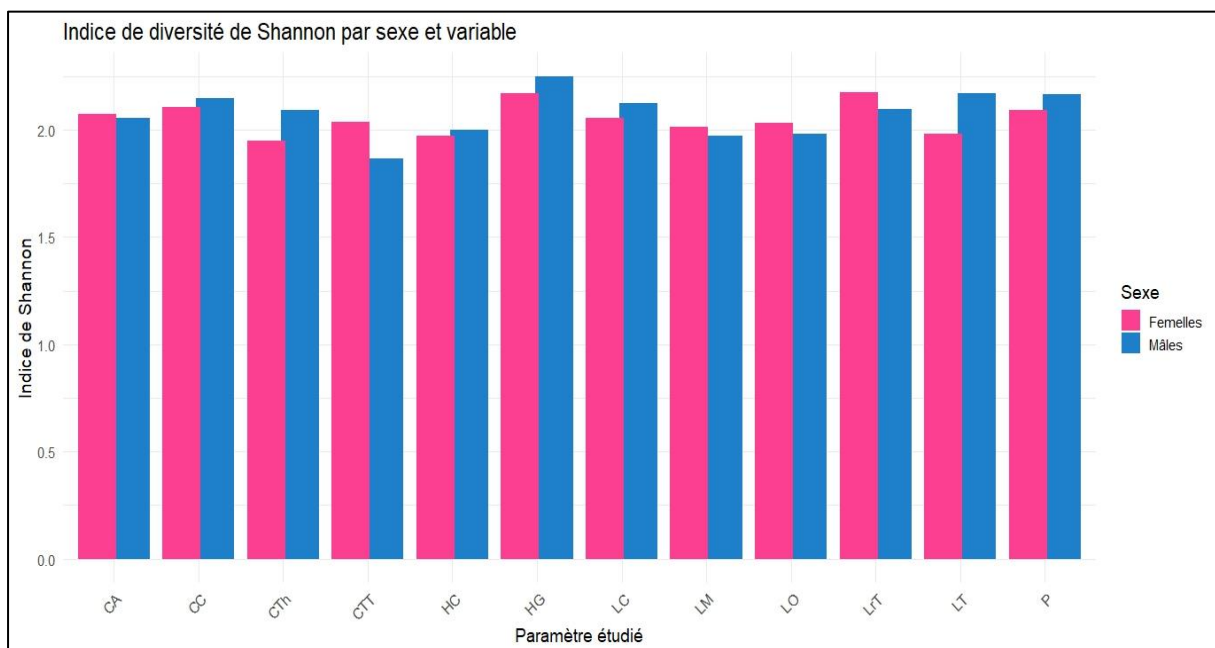


Figure 19 : Représentation graphique de l'indice de Shannon chez les mâles et les femelles

Tableau 13 : Indice de diversité morphométrique de Shannon chez les mâles et les femelles

Paramètres	M	F
HG	2.246122	2.167864
HC	1.998934	1.971793
LC	2.121979	2.055397
LT	2.172173	1.982520
LrT	2.095089	2.176482
LM	1.969614	2.013698
CTT	<u>1.863766</u>	2.034269
LO	1.982392	2.033544
CTh	2.089777	<u>1.949017</u>
CC	2.144558	2.107045
CA	2.056850	2.075243
P	2.164126	2.089377

M : Males, **F** : Femelles, **HG** : hauteur au garrot, **HC** : hauteur de la croupe, **LC** : longueur du corps, **LT** : longueur de la tête, **LrT** : Largeur de la tête, **LM** : longueur du museau, **CTT** : circonférence de la tête, **LO** : longueur des oreilles, **CTh** : circonférence thoracique, **CC** : circonférence du canon (poignet), **CA** : circonférence abdominale, **P** : Poids.

D'après la figure 19 et le tableau 13, la valeur maximale de l'indice de diversité de Shannon chez les mâles était celle de HG (hauteur au garrot) et la valeur minimale était celle de CTT (circonférence de la tête). Chez les femelles, la valeur maximale de l'indice de diversité de Shannon était celle de LrT (largeur de la tête) et la valeur minimale était celle de CTh (circonférence thoracique).

5. Etude des corrélations et analyse de régression linéaire multiple

la corrélation entre le poids vif et les mensurations corporelles a été étudié chez les chiens mâles, les résultats sont présentés par la figure 20.

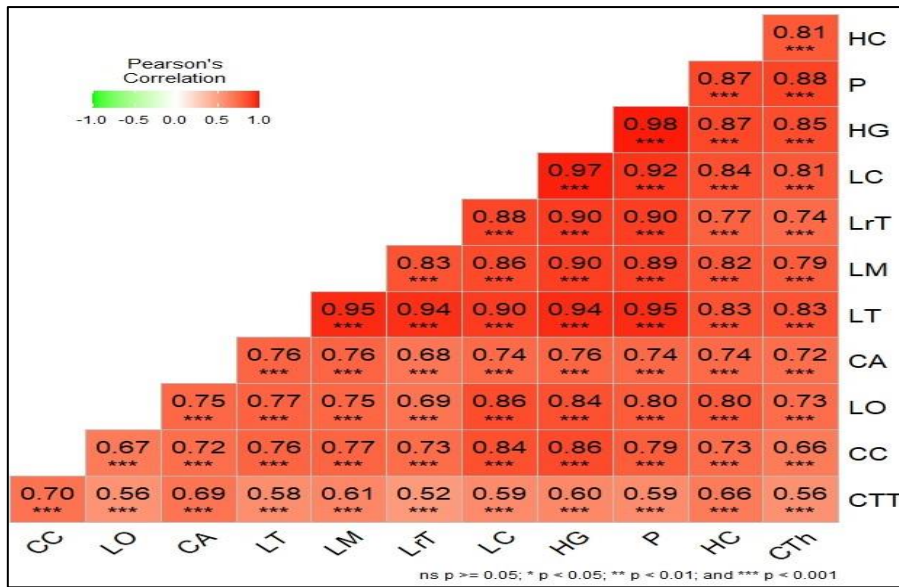


Figure 20 : Matrice de corrélation de Pearson entre le poids vif et les paramètres étudiés chez les mâles

La matrice de corrélation de Pearson (figure 20) met en évidence des relations positives et très hautement significatives entre le poids vif et l'ensemble des paramètres corporels étudiés chez les mâles, avec des coefficients particulièrement élevés pour HG (hauteur au garrot) avec une valeur de 0.98 ,LC (longueur du corps) d'une valeur de 0.92 et LT (longueur de la tête) 0.95, ce qu'indicateurs pour son estimation.

Une étude de corrélation entre le poids vif et les mensurations corporelles a été réalisée chez femelles, les résultats sont présentés par la figure (21)

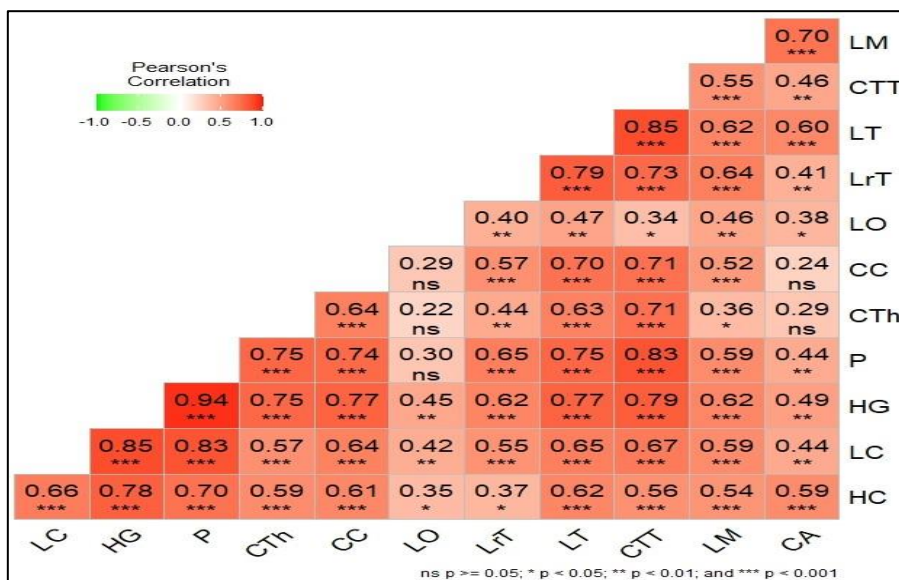


Figure 21 : Matrice de corrélation de Pearson entre le poids vif et les paramètres étudiés chez les femelles

Les résultats de la figure 21 montrent que toutes les corrélations sont positives, partant de non significatives à très hautement significatives. Pour les variables dont la corrélation était non significative on trouve CC avec CA et LO, CTh avec CA et LO et Pavc LO.

Concernant le poids vif nous remarquons qu'il y a une corrélation très hautement significative avec HG d'une valeur très élevée 0.94, une corrélation avec CTT, LM, LT, LrT, CC et CTh, et une corrélation hautement significative avec CA.

Suite à cela, une régression linéaire multiple a été utilisée sur R dans le but de construire des modèles mathématiques qui nous permettent d'estimer le poids des chiens (selon le sexe) en utilisant les 11 mensurations corporelles utilisées. Une régression pas à pas a été utilisée (*backward method*) dans le but de garder uniquement les variables significatives qui peuvent être utilisées comme seules variables prédictives. Dans le but d'éviter tout biais statistique, la fiabilité et le robustesse des modèles a été vérifiée par les statistiques de Durbin-Watson (DWS) pour s'assurer d'une absence totale de colinéarité et d'autocorrélation entre les variables prédictive, et par le calcul du coefficient de détermination R^2 et du coefficient de corrélation de concordance de Lin (CCC) respectivement.

Les résultats finaux des modèles de prédiction du poids ainsi que tous leurs détails sont présentés dans le tableau 14 ci-dessous.

Tableau 14 : Détails statistiques des modèles de prédiction du poids par régression linéaire multiple

Sexe	VI	CR±ES	VP	TOL	VIF	DWS	PV	R ²	CCC
M	C	-98.42±5.28	***	--	--				
	HG	2.12±0.19	***	0.08	12.12				
	LO	-0.56±0.24	*	0.28	3.53	1.80	ns	0.970	0.980
	CTh	0.26±0.09	*	0.26	3.87				
	CC	-0.78±0.27	**	0.23	4.25				
F	C	-61.11±7.44	***	--	--				
	HG	1.21±0.12	***	0.34	2.92	1.56	ns	0.910	0.980
	CTT	0.73±0.25	**	0.38	2.63				
	LO	-1.04±0,38	**	0.80	1.25				

M : Males, F : Femelles, VI : variable indépendante, CR : Coefficient de régression, ES : erreur standard, VP : valeur de probabilité de la variable indépendante, TOL : tolérance, VIF : facteur d'inflation de la variance, DWS : Durbin-Watson Statistics, PV : valeur de probabilité du test statistique de Durbin-Watson, R² : coefficient de détermination, CCC : coefficient de corrélation de concordance de Lin, * : p < 0.05, ** : p < 0.01, p < 0.001.

Les résultats du tableau 14 montrent que le modèle de prédiction du poids chez les mâles comporte une constante dont la valeur est de -98.42, une erreur standard de 5.28, et une valeur de probabilité très hautement significative (***). Quatre paramètres morphométriques participent aussi à la constitution du modèle de prédiction dont la hauteur au garrot (HG) avec un coefficient de régression de 2.12, une erreur standard de 0.19, une valeur de probabilité très hautement significative inférieure à 0.001 (***), une tolérance de 0.08 et une valeur du facteur d'inflation de la variance de 12.12. Pour la longueur des oreilles (LO), un coefficient de régression de -0.56, une erreur standard de 0.24, une valeur de probabilité significative inférieure à 0.05 (*), une tolérance de 0.28 et une valeur du facteur d'inflation de la variance de 3.53. La circonférence thoracique présente un coefficient de régression de 0.26, une erreur standard de 0.09, une valeur de probabilité significative inférieure à 0.05 (*), une tolérance de 0.26 et une valeur de facteur d'inflation de la variance de 3.87. Concernant la circonférence du poignet (CC), un coefficient de régression de -0.78, une erreur standard de 0.27, une valeur de probabilité hautement significative inférieure à 0.01 (**), une tolérance de 0.23, et une valeur de facteur d'inflation de la variance de 4.25. Les statistiques de Durbin-Watson avec une valeur de probabilité supérieure à 0.05 (non significative) confirme une absence totale d'autocorrélation entre les variables prédictives ce qui rend le modèle de prédiction plus précis avec une absence de biais des résultats. Les valeurs du coefficient de détermination (R^2) et du coefficient de corrélation de concordance (CCC) 0.970 et 0.980 montrent à quel point le modèle est précis.

Pour les femelles le modèle de prédiction du poids comporte une constante dont la valeur de -61.11, une erreur standard de 7.44 et une valeur de probabilité très hautement significative (***). Trois paramètres morphométriques participent aussi à la constitution du modèle de prédiction dont la hauteur au garrot (HG), avec un coefficient de régression de 1.21, une erreur de standard de 0.12, une valeur de probabilité très hautement significative (***), une tolérance de 0.34, et une valeur de facteur d'inflation de la variance de 2.92. Pour la circonférence de la tête (CTT), un coefficient de régression de 0.73, une erreur de standard de 0.25, une valeur de probabilité hautement significative (**), une tolérance de 0.38, et une valeur de facteur d'inflation de la variance de 2.63. Concernant la longueur des oreilles (LO), un coefficient de régression de -1.04, une erreur de standard de 0.38, une valeur de probabilité hautement significative (**), une tolérance de 0.80, et une valeur de facteur d'inflation de la variance de 1.25. Les statistiques de Durbin-Watson avec une valeur de probabilité supérieure à 0.05 (non significative) confirme une absence totale d'autocorrélation entre les variables prédictives ce

qui rend le modèle de prédiction plus précis avec une absence de biais des résultats. Les valeurs du coefficient de détermination (R^2) et du coefficient de corrélation de concordance (CCC) 0.910 et 0.980 montrent à quel point le modèle est précis.

Ces coefficients sont mentionnés dans les figures 22 pour les mâles et 23 pour les femelles avec la courbe de régression et la dispersion des observations (poids vif dans l'axe des abscisses et le poids estimé dans l'axe des ordonnées).

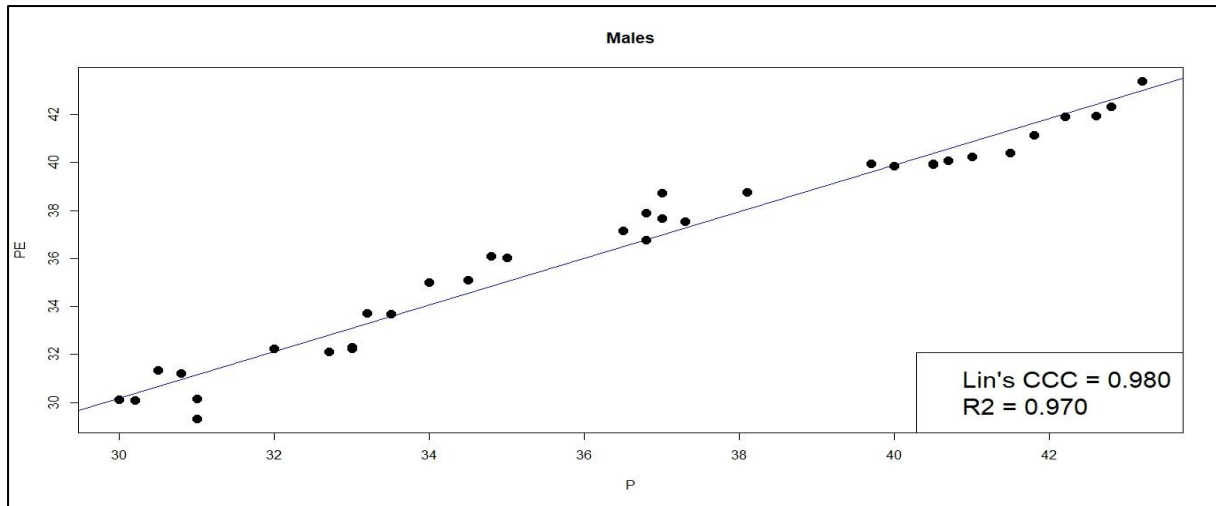


Figure 22 : Coefficient de corrélation de concordance de Lin entre le poids observé et le poids estimé chez les mâles

L'analyse de la concordance de Lin entre le poids observé et le poids estimé chez les mâles (Figure 22) montre une forte corrélation. Le coefficient de concordance ($CCC = 0,980$) révèle une concordance quasi parfaite entre les deux mesures, soulignant ainsi l'excellente précision du modèle. En outre, le coefficient de détermination ($R^2 = 0.970$) démontre que le modèle rend compte d'une portion significative de la variation du poids observé (97%).

L'étroite concentration des données autour de la ligne de régression valide cette forte corrélation linéaire, ce qui signifie que le modèle de prédiction du poids chez les mâles est très digne de confiance.

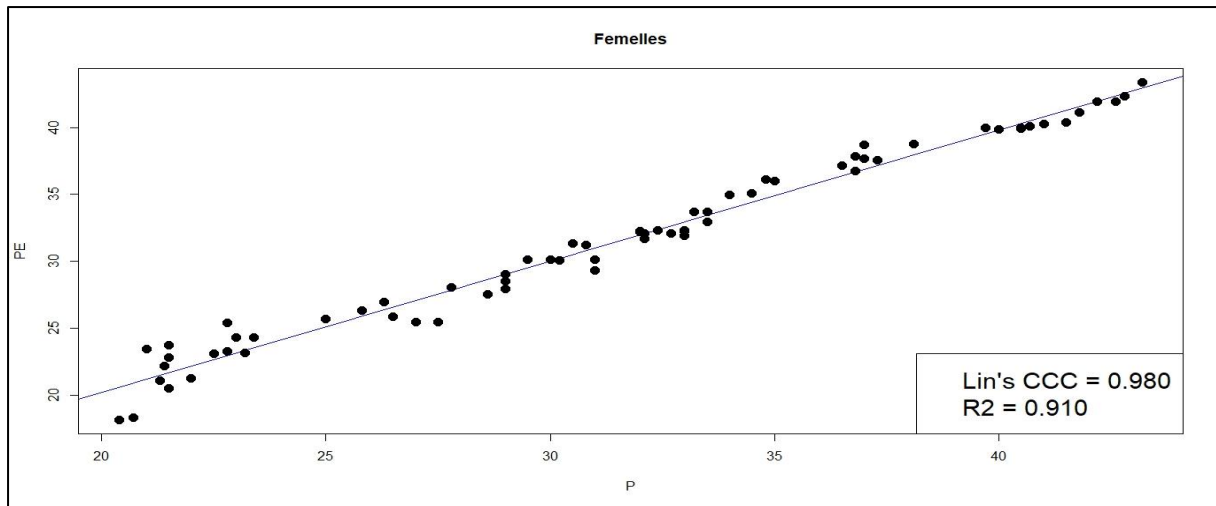


Figure 23 : Coefficient de corrélation de concordance de Lin entre le poids observé et le poids estimé chez les femelles

L'étude de la corrélation de concordance de Lin entre le poids observé et le poids estimé chez les femelles représentée par la figure 23 révèle une relation très forte. Le coefficient de concordance ($CCC = 0.980$) met en évidence une concordance presque parfaite entre les deux mesures, ce qui témoigne de la grande précision du modèle. De plus, le coefficient de détermination ($R^2 = 0.910$) indique que le modèle explique une grande partie de la variation du poids observé (91%).

La faible dispersion des données autour de la droite de régression confirme cette forte association linéaire, donc le modèle d'estimation du poids chez les femelles est très fiable.

Dans cette étude, des équations de prédiction ont été développées spécifiquement pour les races Malinois du berger belge, Husky sibérien, Sloughi algérien et Berger allemand. Des résultats similaires ont été observés chez les chiens indigènes nigériens (Emehelu et al., 2012), où la corrélation la plus forte a été trouvée entre le poids vif et la circonférence thoracique. Pour les chiens Zerdava, les prédictions de poids se fondaient sur la hauteur du flétrissement, la largeur de la poitrine, le tour de poitrine et la longueur de la tête, tandis que les chiens Zağar utilisaient comme prédicteurs la longueur du corps, la largeur de la poitrine, le tour de poitrine, le tour d'os du canon arrière et l'espacement des oreilles. Chez les chiens de Çatalburun, le poids vif pouvait être prédit à partir de la hauteur du garrot, de la longueur du corps et de la circonférence thoracique (Özkul et al., 2021).

D'autre part, Valdez et Valencia (2004) ont constaté chez les chiens indigènes philippins que toutes les mesures du corps étaient corrélées positivement avec le poids corporel, la

circonférence thoracique étant le prédicteur le plus fort pour les deux sexes ($R^2 = 0,468$). En revanche, Elmaz et al. (2006) ont identifié la longueur de l'oreille comme étant le prédicteur le plus significatif du poids vif chez les bergers allemands à l'École militaire vétérinaire de Gemlik. En outre, Çelik et Yilmaz (2018) ont démontré que 68 % et 91 % de la variation des mesures morphométriques et du poids vif chez les chiens Tazi turcs pouvaient être expliquées à l'aide de méthodes d'arbre de classification et de régression (CART) et de splines de régression adaptatives multivariées (MARS).

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les résultats de ce travail nous ont permis d'avoir une idée globale sur la morphométrie du chien de berger allemand dans les deux zones géographiques étudiées. Le dimorphisme sexuelle était évident dans toutes les mensurations corporelles utilisées dans cette étude dont la hauteur au garrot (HG), la hauteur de la croupe (HC), la longueur du corps (LC), la longueur de la tête (LT), la largeur de la tête (LrT), la longueur du museau (LM), la circonférence de la tête (CTT), la longueur des oreilles (LO), la circonférence thoracique (CTh), la circonférence du poignet (CC), la circonférence abdominale (CA) ainsi que le poids vif (P). Cette différence était en faveur des mâles avec une valeur de probabilité inférieure à 0.001 soit (***) . Quant aux cinq indices corporels, il n'y avait aucune différence significative entre les mâles et les femelles pour l'indice de profil (IP), l'indice corporel (Icr) et l'indice oreille-tête (IOT). La différence était significative en faveur des mâles pour l'indice céphalique (IC) et très hautement significative pour l'indice tête-museau (ITM) toujours en faveur des mâles.

Il n'y avait aucune différence significative entre les chiens de Tlemcen et ceux de Sidi Bel Abbès pour l'ensemble des mensurations corporelles et des indices corporels à l'exception de l'indice céphalique (IC) où la différence était significative en faveur des chiens de Sidi Bel Abbès.

Concernant l'effet Région*Sexe, il n'y avait aucune différence significative entre les mâles de Tlemcen et les mâles de Sidi Bel Abbès pour l'ensemble des mensurations corporelles et des indices corporels à l'exception de l'indice céphalique (IC) où la différence était hautement significative en faveur des mâles de Sidi Bel Abbès.

Chez les femelles, il n'y avait aucune différence significative, ni pour les mensurations corporelles ni pour les indices corporels.

L'utilisation d'une classification hiérarchique sur composantes principales en utilisant les mensurations corporelles et le poids vif a permis d'identifier la formation de trois clusters différents avec un cluster contenant majoritairement des femelles, un deuxième cluster contenant majoritairement des mâles et un troisième cluster contenant uniquement des mâles.

Le calcul de la distance de Mahalanobis entre les mâles et les femelles a permis de confirmer l'existence d'une différence très hautement significative entre les deux groupes, et ce, en utilisant les mensurations corporelles.

Le calcul de l'indice de diversité morphométrique de Shannon chez les mâles et les femelles nous a conduit à avoir une idée non seulement sur la diversité en général mais aussi sur les

mesurations qui peuvent être sujettes à une sélection faite par les éleveurs , exemple : la circonférence de la tête chez les mâles et la circonférence thoracique chez les femelles.

L'application d'une régression linéaire multiple pour l'obtention d'un modèle mathématique permettant l'estimation du poids des chiens à partir des mensurations corporelles utilisées a permis d'avoir un modèle de prédiction chez les mâles contenant quatre mensurations corporelles comme variables prédictives dont la hauteur au garrot (HG), la longueur des oreilles (LO), la circonférence thoracique (CTh) et la circonférence du poignet (CC) avec un coefficient de détermination R^2 de 0.970 (97%) et un coefficient de corrélation de concordance CCC de 0.980 (98%). Chez les femelles le modèle obtenu contient trois variables prédictives dont la hauteur au garrot (HG), la circonférence de la tête (CTT) et la longueur des oreilles (LO) avec un coefficient de détermination R^2 de 0.910 (91%) et un coefficient de corrélation de concordance CCC de 0.980 (98%). Cette régression nous a permis d'identifier deux variables prédictives universelles pour les mâles et les femelles berger allemand qui sont la hauteur au garrot (HG) et la longueur des oreilles (LO).

Ce genre d'étude serait plus informatif s'il serait complété par une étude moléculaire basée sur l'analyse de l'ADN, et ce, en utilisant des marqueurs moléculaires tels que les microsatellites, les polymorphismes de nucléotides uniques (SNP) et les marqueurs de l'ADN mitochondrial. Une étude phénotype/génotype (GWAS) est aussi fortement recommandée afin de repérer certaines signatures de sélection au sein de cette race en Algérie.

Références bibliographiques

- AKC, 2020 : American Kennel Club, German Shepherd Dog: Breed Standard.
- Allendorf, F. W., & Luikart, G. (2007). Conservation and the Genetics of Populations. Blackwell Publishing.
- Beck, A. M., & Katcher, A. H. (2003). Between Pets and People: The Importance of Animal Companionship. Purdue University Press.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., & Gonzalez, A. (2012). "Biodiversity loss and its impact on humanity". *Nature*, 486(7401), 59–67.
- Cavalli-Sforza, L., 2000. Genes, Pueblos y Lenguas. Barcelona: Ed. Crítica.
- CBD (1992). Convention sur la diversité biologique. United Nations Environment Programme.
- Cecchi, F., Paci, G., Spaterna, A. and Ciampolini, R., 2013. Genetic variability in Bracco Italiano dog breed assessed by pedigree data. *Italian Journal of Animal Science*, 12, pp.348-352.
- Celik, S. and Yilmaz, O., 2018. Prediction of body weight of Turkish Tazi dogs using data mining techniques: classification and regression tree (CART) and multivariate adaptive regression splines (MARS). *Journal of Zoology*, 50(2), pp.575-583.
- Chivian, E., & Bernstein, A. (2008). Sustaining Life: How Human Health Depends on Biodiversity. Oxford University Press.
- Clutton-Brock, J. (1995). The Domestic Dog: Its Evolution, Behaviour and Interactions with People. Cambridge University Press.
- Coppinger, R., & Coppinger, L. (2001). Dogs: A Startling New Understanding of Canine Origin, Behavior, and Evolution. Scribner.
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., et al. (1997). "The value of the world's ecosystem services and natural capital". *Nature*, 387(6630), 253–260.
- Crawford, R. D. (2012). Poultry Breeding and Genetics. Elsevier.
- Czemer, E. (1997). Essays on Canine Morphology.
- Daily, G. C. (1997). Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press.

Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. John Murray.

Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. John Murray.

Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. John Murray.

Díaz, S., Tilman, D., & Fargione, J. E. (2006). "Biodiversity loss threatens human well-being". *PLoS Biology*, 4(8), e277.

Dobzhansky, T. (1937). *Genetics and the Origin of Species*. Columbia University Press.

Drobnjak, D., 2012. *Turkish shepherd dog Kangal*. Cepib Publisher, Zemun, Belgrade, Serbia.

Drobnjak, D., 2012. *Turkish shepherd dog Kangal*. Cepib Publisher, Zemun, Belgrade, Serbia.

Drobnjak, D., Matic, V. and Miliyevic, D., 2010. *Eksterijerpasaosnoveprocene*. TipoŠtampa, Belgrade, Serbia, pp. 27-33.

Drobnjak, D., Matic, V. and Miliyevic, D., 2010. *Eksterijerpasaosnoveprocene*. TipoŠtampa, Belgrade, Serbia, pp. 27-33.

Elmaz, O., Aksoy, O.A., Dikmen, S. and Zonturlu, A., 2006. Growth performance, survival ratio and body measurements until weaning age of German Shepherd dogs. In: *Proceedings of the 31st World Congress, World Small Animal Veterinary Association, Prague, Czech Republic*.

Emehelu, C.O., Eze, J.I., Akune, A. and Chah, K.F., 2012. Estimation of live body weight from body measurements in Nigerian local dogs. *African Journals Online*, 30(2), pp.65-73.

FCI (2019). *FCI Standard & Breed Information*. Fédération Cynologique Internationale.

FCI, 2019 : Fédération Cynologique Internationale, *Standard de la race Berger Allemand*, standard n° 166.

Frąckowiak, H., Kiryk, E., Graczyk, S. and Zdun, M., 2021. Preliminary biometric characteristics of Border Collies and their dependence on sport activity. *Animal Science and Genetics*, 17(4), pp. 25-36.

- Frąckowiak, H., Kiryk, E., Graczyk, S. and Zdun, M., 2021. Preliminary biometric characteristics of Border Collies and their dependence on sport activity. *Animal Science and Genetics*, 17(4), pp. 25-36.
- Friedrich, R., et al. (2015). Ethical Concerns in the Breeding of German Shepherd Dogs: Physical and Behavioral Implications. *Animal Welfare and Ethics Journal*, 33(4), 405-413.
- Frost, M. (2009). Rin Tin Tin: The Movie Star Dog and His Legacy. *Journal of Popular Culture*, 42(4), 672-688.
- González, A., Luque, M., Rodero, E., González, C., Aguilera, R., Jiménez, J., Sepúlveda, N., Bravo, S. and Herrera, M., 2011. Use of morphometric variables for differentiating Spanish hound breeds. *International Journal of Morphology*, 29, pp.1248-1255.
- Gordini, D., Segato, S., & Franceschelli, M. (2016). "The role of genetic selection in the creation of commercial animal lines." *Animal Breeding Journal*, 34(2), 101–114.
- Griffiths, A. J. F., Wessler, S. R., Carroll, S. B., & Doebley, J. (2000). *Introduction to Genetic Analysis* (7th ed.). W. H. Freeman.
- Haddam, H.Y., Mennani, A., Belala, R., Hamel, W., Mokrani, S., Saad, C., Abdelbari, H., Benhamadi, M.E.A. and Gaouar, S.B.S., 2024c. Statistical models based on morphometric traits for body weight prediction in four dog breeds raised in Algeria. *Genetic Biodiversity Journal*, 8(2), pp.37-46.
- Haddam, H.Y., Mennani, A., Hamel, W., Benhamadi, M.E.A. and Gaouar, S.B.S., 2021. Morphological characterization of an Algerian Sighthound known as The Sloughi raised in the Wilaya of Tlemcen, Northwest of Algeria. *Genetic Biodiversity Journal*, 5(1), pp.74-86.
- Haddam, H.Y., Mennani, A., Yilmaz, O., Abdelbari, H., Mkedder, I., Benhamadi, M.E.A., Hamel, W. and Gaouar, S.B.S., 2024b. The first morphological study of the Sloughi dog breed in Algeria. *South African Journal of Animal Science*, 54(2), pp.135-146.
- Haddam, H.Y., Zenagui, M., Hasnaoui, I., Mkedder, I. and Gaouar, S.B.S., 2024a. Morphometric comparative study between Algerian Sloughi and Galgo cross Sloughi dogs raised in Northwest of Algeria and body weight estimation using morphometric traits. *Genetic Biodiversity Journal*, 8(1), pp.31-41.
- Hare, B., & Tomasello, M. (2005). "Human-like social skills in dogs?". *Trends in Cognitive Sciences*, 9(9), 439–444.

- Hartl, D. L., & Clark, A. G. (2007). *Principles of Population Genetics* (4th ed.). Sinauer Associates.
- Lande, R. (1993). "Risks of population extinction from demographic and environmental stochasticity and random catastrophes". *The American Naturalist*, 142(6), 911–927.
- Loreau, M., Naeem, S., & Inchausti, P. (2001). *Biodiversity and Ecosystem Functioning*. Oxford University Press.
- Lynch, M. (2010). *The Origins of Genome Architecture*. Sinauer Associates.
- Maynard Smith, J. (1998). *Evolutionary Genetics* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Mayr, E. (1942). *Systematics and the Origin of Species*. Columbia University Press.
- McCulloch, K. (2006). The Role of Service Dogs in Health Care: An Analysis of the Use of Therapy Animals. *Health Care Journal*, 34(3), 129-141.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute.
- Meghelli, I., Kaouadji, Z., Yilmaz, O., Cemal, I., Karaca, O. and Gaouar, S.B.S., 2020. Morphometric characterization and estimating body weight of two Algerian camel breeds using morphometric measurements. *Tropical Animal Health and Production*, 52, pp.2505-2512.
- Miklósi, Á., Topál, J., & Csányi, V. (2004). Big Thoughts in Small Brains? Dogs as a Model for Understanding Human Cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 28(1), 79-91.
- Naeem, S., Thompson, L., Lawler, S., & Woodfin, A. (1999). "Biodiversity and ecosystem functioning". *Nature*, 398(6729), 404–408.
- Nei, M. and Roychoudhury, A.K., 1974. Sampling variances of heterozygosity and genetic distance. *Genetics*, 76, pp. 379–390.
- Nei, M., 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. *Genetics*, 89, pp. 583–590.
- Odum, E. P. (1971). *Fundamentals of Ecology* (3rd ed.). Saunders.

Oğrak, Y.Z., Yoldaş, A., Urošević, M. and Drobnjak, D., 2014. Some morphological traits of Tarsus Çatalburun breed of Turkish hunting dog. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 1, pp.25-29.

Özkul, B.Y., Doka, P.C.K., Özen, D., Özbaşer, F.T., Özarslan, B. and Atasoy, F., 2021. Correlation between live weight and body measurements in certain dog breeds. *South African Journal of Animal Science*, 51(2), pp.151-159.

Parker, H. G., et al. (2004). Genetic Structure of the Domestic Dog. *Journal of Heredity*, 95(6), 436-441.

Parker, H.G., Kim, L.V., Sutter, N.B., Carlson, S., Lorentzen, T.D., Malek, T.B., Johnson, G.S., DeFrance, H.B., Ostrander, E.A. and Kruglyak, L., 2004. Genetic structure of the purebred domestic dog. *Science*, 304(5674), pp. 1160-1164.

Ridley, M. (2004). *Evolution* (3rd ed.). Blackwell Science.

Savolainen, P., Zhang, Y. P., Luo, J., Lundeberg, J., & Leitner, T. (2002). Genetic evidence for an East Asian origin of domestic dogs. *Science*, 298(5601), 1610-1613.

Schalke, E., et al. (2005). The German Shepherd as a Working Dog: From Police to Therapy Roles. *Journal of Applied Animal Behavior Science*, 90(1), 93-104.

Scott, J. P., & Fuller, J. L. (1965). *Genetics and Social Behavior of the Dog*. University of Chicago Press.

Serpell, J. A. (1995). *The Domestic Dog: Its Evolution, Behavior and Interactions with People*. Cambridge University Press.

Serpell, J. A. (2017). *The Domestic Dog: Its Evolution, Behavior and Interactions with People* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Serradj, M., Benabdeljelil, K., & Kourda, A. (2011). "Diversity and local adaptation of animal populations in traditional farming systems". *Journal of Animal Science*, 89(12), 4210–4220.

Slatkin, M. (1985). "Gene flow in natural populations". *Annual Review of Ecology and Systematics*, 16, 393–430.

Sykes, B. C., Gresham, M. K., & James, L. (1994). "Domestication and the relationship between wild ancestors and contemporary breeds." *Animal Genetics*, 25(1), 16-23.

- Templeton, A. R. (2006). *Population Genetics and Microevolutionary Theory*. Wiley-Blackwell.
- Thalmann, O., Shapiro, B., Cui, P., et al. (2013). "Complete mitochondrial genomes of ancient canids suggest a European origin of domestic dogs". *Science*, 342(6160), 871–874.
- Thuller, M., Jangarelli, M., Couto, D. and Araújo, A., 2015. Sexual dimorphism of Labrador retriever dogs by morphometry. *Bioscience Journal*, 31, pp.1475-1487.
- Traoré, A., Tamboura, H., Kaboré, A., Royo, L., Fernández, I., Álvarez, I., Sangaré, M., Bouchel, D., Poivey, J., Francois, D., Toguyeni, A., Sawadogo, L. and Goyache, F., 2008. Multivariate analyses on morphological traits of goat in Burkina Faso. *Archiv für Tierzucht*, 6, pp.588-600.
- Urosevic, M., Drobnjak, D., Stojic, P. and Oğrak, Y.Z., 2020b. Morphometric characterization of the Akbaş (Akbash) Turkish shepherd dog. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(7), pp.1571-1576.
- Urosevic, M., Matejevic, M., Drobnjak, D. and Ozkanal, U., 2020a. Use of morphometric variables for differentiating breed variations in Turkish Tazi (sighthound) population. *Pakistan Journal of Zoology*, 52, pp.1765-1770.
- Valdez, C.A. and Valencia, J.P.L., 2004. Weight prediction in medium to large sized adult Philippine native dogs using external body measurements. *Philippine Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 30(1), pp. 161-169.
- Van der Valk, E., et al. (2010). Genetic Disorders and Health Issues in German Shepherd Dogs. *Journal of Veterinary Genetics*, 41(3), 277-285.
- Wayne, R. K. (1986). Molecular Evolution of the Dog Family (Canidae) and the Origin of the Domestic Dog. *Journal of Heredity*, 77(3), 313-325.
- Wayne, R. K. (1993). "Molecular evolution of the dog family". *Trends in Genetics*, 9(6), 218–224.
- Wayne, R.K., vonHoldt, B.M. Evolutionary genomics of dog domestication. *Mamm Genome* 23, 3–18 (2012). <https://doi.org/10.1007/s00335-011-9386-7>.
- Wilson, E. O. (1992). *The Diversity of Life*. Harvard University Press.
- Wright, S. (1931). "Evolution in Mendelian populations". *Genetics*, 16(2), 97–159.

Yilmaz, O. & Ertuğrul, M., 2011. Some morphological characteristics of Turkish Tazi (Sight Tazi). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 21, pp.794-799.

Yilmaz, O., Cemal, I. and Karaca, O., 2013. Estimation of mature live weight using some body measurements in Karya sheep. *Tropical Animal Health and Production*, 45, pp.397-403.

Zeder, M. A. (2012). "Pathways to animal domestication". In *Biodiversity in Agriculture: Domestication, Evolution, and Sustainability* (pp. 227–259). Cambridge University Press.

Références Logiciel R et Packages

Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

Curran J, Hersh T (2021). *_Hotelling: Hotelling's T² Test and Variants_*. R package version 1.0-8, <<https://CRAN.R-project.org/package=Hotelling>>.

Fox J, Weisberg S (2019). *_An R Companion to Applied Regression_*, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. <<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>>.

H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.

Hebbali A (2020). *_olsrr: Tools for Building OLS Regression Models_*. R package version 0.5.3, <<https://CRAN.R-project.org/package=olsrr>>.

Kassambara A, Mundt F (2020). *_factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses_*. R package version 1.0.7, <<https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>>.

Kuhn, M. (2008). Building Predictive Models in R Using the caret Package. *Journal of Statistical Software*, 28(5), 1–26. <https://doi.org/10.18637/jss.v028.i05>.

Miller TLboFcbA (2020). *_leaps: Regression Subset Selection_*. R package version 3.1, <<https://CRAN.R-project.org/package=leaps>>.

Oksanen J, Simpson G, Blanchet F, Kindt R, Legendre P, Minchin P, O'Hara R, Solymos P, Stevens M, Szoecs E, Wagner H, Barbour M, Bedward M, Bolker B, Borcard D, Carvalho G, Chirico M, De Caceres M, Durand S, Evangelista H, FitzJohn R, Friendly M, Furneaux B, Hannigan G, Hill M, Lahti L, McGlinn D, Ouellette M, Ribeiro Cunha E, Smith T, Stier A, Ter Braak C, Weedon J (2024). *_vegan: Community Ecology Package_*. R package version 2.6-6, <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>>.

Olivoto T, Lúcio AD (2020). “metan: An R package for multi-environment trial analysis.” *_Methods in Ecology and Evolution_*, 11(6), 783-789. doi:10.1111/2041-210X.13384 <<https://doi.org/10.1111/2041-210X.13384>>.

Sebastien Le, Julie Josse, Francois Husson (2008). *FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis*. *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1-18. 10.18637/jss.v025.i01.

Stevenson M, Sergeant E, Firestone S (2024). *_epiR: Tools for the Analysis of Epidemiological Data_*. R package version 2.0.67, <<https://CRAN.R-project.org/package=epiR>>.

Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002) *Modern Applied Statistics with S*. Fourth Edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0.

Wickham H, Averick M, Bryan J, Chang W, McGowan LD, François R, Grolemund G, Hayes A, Henry L, Hester J, Kuhn M, Pedersen TL, Miller E, Bache SM, Müller K, Ooms J, Robinson D, Seidel DP, Spinu V, Takahashi K, Vaughan D, Wilke C, Woo K, Yutani H (2019). “Welcome to the tidyverse.” *Journal of Open Source Software*, 4(43), 1686. doi:10.21105/joss.01686 <<https://doi.org/10.21105/joss.01686>>.

William Revelle (2023). *psych: Procedures for Psychological, Psychometric, and Personality Research*. Northwestern University, Evanston, Illinois. R package version 2.3.9, <<https://CRAN.R-project.org/package=psych>>.

Résumé

Le présent travail vise à faire une caractérisation morphométrique du berger allemand au niveau de deux wilayas de l'ouest algérien, de faire une classification hiérarchique sur composant principale, d'étudier la différence entre les mâles et les femelles, d'étudier la diversité morphométrique entre les sexes et enfin établir des modèles mathématiques basés sur la régression linéaire dans le but d'estimer le poids des chiens en fonction des mensurations corporelles. 80 chiens dont 40 mâles et 40 femelles répartis d'une manière équitable entre les deux wilayas ont été utilisés. Les moyennes pour la hauteur au garrot, la hauteur de la croupe, la longueur du corps, la longueur de la tête, la largeur de la tête, la longueur du museau, la circonférence de la tête, la longueur des oreilles, la circonférence thoracique, la circonférence du poignet, la circonférence abdominale ont été utilisées comme mesures corporelles, le poids a été mesuré aussi. L'indice de profil, l'indice céphalique, l'indice corporel, l'indice tête- museau et l'indice oreille- tête ont été calculés. Parmi les modèles de régression multiple formés, les plus élevés coefficients de détermination (R^2) ont été obtenus à partir des modèles formés de la hauteur au garrot, la longueur des oreilles, la circonférence thoracique et la circonférence du poignet pour les mâles avec un R^2 de 0.970 et un CCC de 0.980, et un modèle formé de la hauteur au garrot, la circonférence de la tête et la longueur des oreilles pour les femelles avec un R^2 de 0.910 et un CCC de 0.980. La présente étude a montré que le poids vif du berger allemand peut être estimé avec une bonne précision.

Mots clés : Berger allemand, chien, diversité, modélisation, morphométrie, ouest Algérien.

Abstract

The present work aims to carry out a morphometric characterization of the German Shepherd in two western Algerian provinces, to perform a hierarchical classification based on principal component analysis, to study the difference between males and females, to examine the morphometric diversity between the sexes, and finally to establish mathematical models based on linear regression in order to estimate the weight of the dogs according to body measurements. 80 dogs, including 40 males and 40 females distributed equally between the two provinces, were used. The averages for withers height, croup height, body length, head length, head weight, muzzle length, head circumference, ear length, thoracic circumference, wrist circumference, and abdominal circumference were used as body measurements. Weight was also measured. The profile index, cephalic index, body index, head-muzzle index, and ear-head index were calculated. Among the multiple regression models formed, the highest coefficients of determination R^2 were obtained from models composed of withers height, ear length, thoracic circumference, and wrist circumference for males with an R^2 of 0.970 and a CCC of 0.980, and a model composed of withers height, head circumference, and ear length for females with an R^2 of 0.910 and a CCC of 0.980. This study showed that the live weight of the German Shepherd can be estimate with good accuracy.

Keywords: Dog, diversity, German shepherd, modelling, morphometry, western Algeria.

ملخص

يهدف هذا العمل إلى إجراء توصيف مورفومتري لكلاي الراعي الألماني على مستوى ولايتين من الغرب الجزائري، وإجراء تصنيف تراتبي على أساس التحليل بالمكونات الرئيسية، ودراسة الفروق بين الذكور والإناث، وتحليل التنوع المورفومتري بين الجنسين، وأخيرًا بناء نماذج رياضية اعتمادًا على الانحدار الخطي بهدف تقدير وزن الكلاب بناءً على القياسات الجسمية. تم استخدام 80 كلبًا، منها 40 ذكرًا و40 أنثى، موزعين بالتساوي بين الولايتين. وقد استخدمت المتوسطات لكل من ارتفاع الحارك، ارتفاع العجز، طول الجسم، طول الرأس، عرض الرأس، طول الأنف، محيط الرأس، طول الأذنين، محيط الصدر، محيط الرسغ، ومحيط البطن كقياسات جسمية. كما تم قياس الوزن أيضًا. تم حساب كل من مؤشر الشكل الخارجي، المؤشر الراسي، مؤشر الجسم، مؤشر الرأس-الأنف، ومؤشر الأذن-الرأس. من بين نماذج الانحدار المتعدد التي تم بناؤها، تم الحصول على أعلى معاملات التحديد (R^2) من النماذج التي تضمنت ارتفاع الحارك، طول الأذنين، محيط الصدر، ومحيط الرسغ عند الذكور، حيث بلغ $R^2 = 0.970$ ومعامل توافق الانحدار $CCC = 0.980$ أما عند الإناث، فقد تم الحصول على نموذج يتكون من ارتفاع الحارك، محيط الرأس، وطول الأذنين، مع $R^2 = 0.910$ و $CCC = 0.980$. وقد أظهرت هذه الدراسة أن الوزن الحي لكلاي الراعي الألماني يمكن تقديره بدقة جيدة اعتمادًا على القياسات الجسمية.

الكلمات المفتاحية: غرب الجزائر، الراعي الألماني، القياس الشكلي، الكلب، التنوع، النمذجة.