

DEFI ANIMAL 2

Caractérisation phénotypique et génétique de la population caprine mahoraise



Audrey Rozier, CIRAD - Issoufi Oussoufi Abdallah, CAPAM - Anlidine Mkadara, CAPAM - Kamardine Mchindra, CAPAM - Laurence Flori, INRAE - Emmanuel Tillard, CIRAD - Jérôme Janelle, CIRAD

Table des matières

Liste des figures.....	4
Liste des tableaux.....	5
Remerciement.....	6
Introduction.....	7
I. Contexte	8
1. Phylogénie de l'espèce caprine	8
2. Migration et arrivée à Mayotte	9
a. Du Croissant Fertile à l'Afrique.....	9
b. De l'Afrique aux îles de l'Océan Indien.....	10
3. L'agriculture à Mayotte	11
a. L'île de Mayotte.....	11
b. Le contexte agricole	13
4. L'élevage mahorais de petits ruminants	14
a. L'élevage de petits ruminants	14
b. Problématique d'accès au foncier	15
c. Contexte sanitaire	16
d. Absence d'organisation des schémas de sélection de ruminants.....	16
II. Problématique.....	17
1. Émergence de cette étude	17
2. Le projet DEFI ANIMAL	17
a. Objectif du projet	17
b. Calendrier de l'étude.....	18
III. Analyse des performances du caprin mahorais	18
1. Matériels et méthodes	18
a. Acquisition des données.....	18
b. Analyses des données	21
2. Structure de la population caprine.....	22
3. Performance de reproduction.....	23
4. Performances de production.....	23
IV. Caractéristiques phénotypiques.....	24
1. Matériels et méthodes	24
a. Échantillonnage et choix des animaux	24
b. Données récoltées.....	26
c. Enregistrements et bases de données	28
d. Analyse des données	28

2.	Résultats des données quantitatives.....	28
3.	Résultats des données qualitatives	32
4.	Interprétation et discussion	37
V.	Caractéristiques génétiques.....	39
1.	Matériels et méthodes	39
a.	Prélèvements sanguins.....	39
b.	Extraction d'ADN et préparation des échantillons.....	39
c.	Choix des individus à génotyper.....	39
d.	Génotypage	40
e.	Analyse des données	40
2.	Résultats	41
a.	Analyses exploratoires	41
b.	Calcul de paramètres de diversité génétique.....	42
VI.	Exploration des potentialités d'adaptation.....	43
1.	Contexte du travail exploratoire sur les potentialités d'adaptation	43
2.	Matériels et méthodes	43
3.	Résultats	44
a.	Tolérance au climat et aux maladies	44
b.	Parasitisme externe.....	45
c.	Parasitisme interne.....	46
VII.	Difficultés rencontrées et limites	47
VIII.	Perspectives.....	47
1.	Caractérisation des performances zootechniques.....	47
2.	Caractérisation des performances d'adaptation.....	48
3.	Conservation de la race	48
4.	Recensement, suivi et gestion des populations caprines.....	48
	Conclusion	49
	Bibliographie.....	50
	ANNEXE 1 : Variables et modalités des variables qualitatives relevées sur chaque individu	53
	ANNEXE 2 : Variables et modalités des variables qualitatives relevées sur chaque troupeau	55
	ANNEXE 3 : Protocole d'extraction d'ADN	56
	ANNEXE 4 : Liste des animaux génotypés	58
	ANNEXE 5 : Jeu de données pour l'étude des caractéristiques génétiques du caprin mahorais.....	59
	ANNEXE 6 : Méthode de Mac Master	61

Liste des figures

Figure 1 : Classification phylogénétique de l'espèce caprine domestique (De Vienne 2016)	8
Figure 2 : Race Alpine, Saanen et Boer (de gauche à droite)	9
Figure 3: Principales composantes d'analyses de génomes de chèvres anciennes et actuelles (Daly et al. 2018).....	10
Figure 4: Flux humains et animaux vers l'île de Mayotte au fil des siècles	11
Figure 5: Carte topographique de Mayotte	12
Figure 6: Répartition de la population agricole par tranche d'âge selon le recensement agricole de 2010 (AGRESTE 2011).....	13
Figure 7: Répartition des exploitations selon les surfaces cultivées, recensement agricole de 2010 (AGRESTE 2011).....	14
Figure 8: Répartition des parcelles selon leur distance à l'exploitation, recensement agricole de 2010 (AGRESTE 2011).....	16
Figure 9: Relations entre les différentes tables de la base Access « Mayotte_pr ».....	19
Figure 10 : Carte de Mayotte avec le nombre d'éleveurs enquêtés par village (chiffre en rouge) en première phase d'enquête.....	21
Figure 11: Pyramide des âges des troupeaux caprins, toutes races confondues, seuls les animaux présents au début de chaque mois du suivi sont pris en compte (Janelle et al. 2013)	22
Figure 12: Poids à âge-type en fonction du sexe et du type génétique dominant. Le point indique la médiane, les limites inférieures et supérieures des boîtes indiquent les 1er (Q1) et 3ème (Q3) quartiles, les « moustaches » en pointillés indiquent les valeurs égales à $Q1 - 1.5 \times (Q3 - Q1)$ et $Q3 + 1.5 \times (Q3 - Q1)$	24
Figure 13 : Évolution de 8 mesures biométriques du corps en fonction du nombre de dents et du sexe des caprins mahorais.....	30
Figure 14: Mesures biométriques de la tête chez les mâles et les femelles caprins mahorais	30
Figure 15: Mesures biométriques des cornes chez les mâles et les femelles caprins mahorais	31
Figure 16: Poids moyen des caprins mahorais à différents âges types différenciés en fonction du sexe	31
Figure 17: Corrélations entre 7 variables biométriques avec le nuage de point (partie inférieure gauche), l'histogramme de chaque variable (sur la ligne diagonale) et la valeur de corrélation avec sa significativité (partie supérieure droite)	32
Figure 18: Représentation de la proportion de chaque patron présent dans la population de chèvres mahoraises.	33
Figure 19 : Pourcentage des différents profils de tête.....	35
Figure 20 : Pourcentage des différentes couleurs de cornes présentes dans la population	36
Figure 21 : Pourcentage de chèvre mahoraise dans chacune des 7 classes d'orientations des trayons	37
Figure 22 : Premier plan factoriel de l'ACP prenant en compte 39583 SNPs et 54 populations caprines	41
Figure 23: Arbre NJ basé sur les indices Fst (différenciation entre les populations). La population de caprins mahorais est encadrée en bleu clair.....	42
Figure 24: Arbre NJ basé sur l'allèle Sharing Distance des individus. La population de caprins mahorais est indiquée en bleu clair	43
Figure 25 : Pourcentage d'éleveurs répartis selon leurs pratiques de visites vétérinaires.....	45
Figure 26: Pourcentage de caprins mahorais répartis selon les pratiques de déparasitage	45
Figure 27 : Pourcentage de caprins mahorais répartis selon les pratiques de vermifuge	47

Liste des tableaux

Tableau 1: Calendrier de l'étude avec les périodes et les actions associées	18
Tableau 2 : Variables et modalités composant l'enquête de la première phase	20
Tableau 3 : Évolution de la proportion de différentes catégories d'animaux et d'élevages entre l'échantillon analysé de 2013 à 2015 et l'échantillon de 2021	22
Tableau 4: Poids moyen (kg) des caprins par catégorie et par type génétique, les effectifs sont précisés entre parenthèses (Janelle et al. 2013)	23
Tableau 5 : Méthode d'échantillonnage de la population de caprin mahorais pour l'étape de phénotypage.	24
Tableau 6 : Répartition des caprins phénotypés par âge et par sexe	25
Tableau 7: Variables qualitatives relevées à l'échelle de l'individu	27
Tableau 8: Variables qualitatives relevées à l'échelle du troupeau	28
Tableau 9: Moyenne, écart-type, minimum, maximum et coefficient de variation de 18 variables de mesures corporelles chez des caprins mahorais, tout âge et tout sexe confondu.	29
Tableau 10 : Proportion et fréquence pour chaque motif présent sur chaque patron	33
Tableau 11: Proportion et fréquence pour chaque quantité de pie ou de moucheture présente sur chaque motif	34
Tableau 12 : Proportion et fréquence pour chaque pigmentation de peau présente pour chaque patron de robe	34
Tableau 13 : Proportion et fréquence de chaque texture de poils présente pour chaque longueur de poils	35
Tableau 14 : Proportion et fréquence de chaque orientation de cornes présente pour chaque forme de cornes	36
Tableau 15 : Proportion et fréquence de chaque développement de mamelle présent pour chaque forme de mamelle	37
Tableau 16: Répartition du nombre de caprins à génotyper et génotypés par communes	40
Tableau 17: Questionnaires avec les variables d'adaptations et les modalités proposées aux éleveurs	44
Tableau 18: Questionnaires avec les pratiques de traitements des animaux et les modalités proposées aux éleveurs.....	44
Tableau 19 : Pourcentage de caprins mahorais ayant des strongles digestifs, des coccidies ou du ténia en fonction de 5 classes de quantité.....	46
Tableau 20 : Pourcentage de caprins mahorais porteur de la douve	46
Tableau 21 : Pourcentage de caprins mahorais ayant de 0 à 3 espèces de parasites internes digestifs en fonction de 4 dates de vermifuge	46

Remerciement

J'adresse tout d'abord mes remerciements aux 67 éleveurs qui ont accepté de nous recevoir et de nous consacrer de leur temps dans le cadre de cette étude. Aucun résultat n'aurait été possible sans eux, je les remercie donc sincèrement.

Je remercie Métis, Ned et Kamar, agents de la CAPAM, pour m'avoir accompagnée de bon cœur dans les élevages pour remplir les questionnaires, relever les caractéristiques physiques des chèvres et récolter des échantillons de sang et de fèces. Je les remercie d'avoir été présents lors des ateliers de restitution des résultats aux éleveurs. Vous m'avez beaucoup appris sur les pratiques d'élevage et plus globalement sur la culture mahoraise. Votre aide m'a été très précieuse tout au long de cette mission.

J'adresse également des remerciements à Sitty Bahyat Chamassi et Abou Achiraffi, agents du Laboratoire Vétérinaire et d'Analyses Départemental, pour avoir réalisé les extractions d'ADN, la quantification de l'ADN et les analyses coprologiques avec sérieux et implication. Les échanges que nous avons eu ont été très constructifs.

Je remercie Emmanuel Corse et Zainabou Ali Mcolo du Centre Universitaire de Formation et de Recherche de Mayotte pour vous être rendus disponibles et nous avoir mis à disposition du matériel de quantification d'ADN à la dernière minute.

Je remercie le Laboratoire LABOGENA pour avoir assuré le génotypage des échantillons d'ADN.

Je remercie Diane Rakotomanga, animatrice du Réseau RITA Mayotte, pour son suivi des projets et son aide dans certaines actions.

Je remercie le lycée professionnel agricole de Coconi de m'avoir accueillie dans ses locaux, d'abord sur l'exploitation de Valarano puis dans le bureau des chargés de missions. Merci également aux agents présents à Valarano et aux chargés de mission pour leur intégration et leur aide.

Un grand merci à mon équipe du CIRAD Mayotte, aux VSC et stagiaires des autres projets qui m'ont souvent aidée à avancer et qui étaient présents dans les moments plus difficiles. Je remercie également mon équipe SELMET de la Réunion pour leur accueil chaleureux et leurs réflexions sur mes travaux lors de ma mission à la Réunion.

Introduction

La chèvre a une place importante dans la culture mahoraise. L'élevage de chèvre est destiné à la production de viande. Il est pratiqué de manière traditionnelle, c'est-à-dire dans des enclos en extérieur avec abris, grâce à une très bonne adaptation des animaux au contexte mahorais. Ces animaux sont résistants aux pénuries alimentaires et robustes vis-à-vis du climat, des maladies et parasites locaux. La chèvre est communément vu comme un capital qu'il est possible de vendre rapidement s'il y a un besoin de trésorerie. C'est également un animal très utilisé pour les rituels religieux.

Actuellement, avec l'évolution de la société, les éleveurs souhaitent des animaux plus gros avec un rendement boucher supérieur à ce que peut offrir la race locale. Les importations de caprins exotiques, notamment de race Boer, sont de plus en plus importants. Il en est de même pour les croisements entre des animaux de race Boer et des animaux de race locale. Ces nouvelles pratiques mettent en danger les souches de caprins pures.

Ces changements incitent les acteurs du secteur de l'élevage mahorais à s'interroger sur le devenir de la race caprine locale. Il devient ainsi important de caractériser de manière phénotypique et génétique cette population de chèvres afin de mieux connaître cette race et de la faire reconnaître officiellement. Cela permettra de mettre en place des solutions de conservation et de valorisation de cette race atypique.

I. Contexte

1. Phylogénie de l'espèce caprine

L'espèce caprine fait partie du règne animal et se situe dans la classe des mammifères. La chèvre se place dans l'ordre des Artiodactyla et plus particulièrement dans le sous-ordre plus connu des ruminants. Appartenance à la famille des bovidés, comme les bovins, les moutons et les antilopes, la chèvre fait partie de la sous-famille plus spécifique des Caprinae. Cette sous-famille regroupe notamment les chèvres domestiques et sauvages, les moutons et les chamois. Au sein de cette sous-famille, les chèvres domestiques appartiennent aux Capra, plus particulièrement à l'espèce *Capra hircus* (Figure 1).

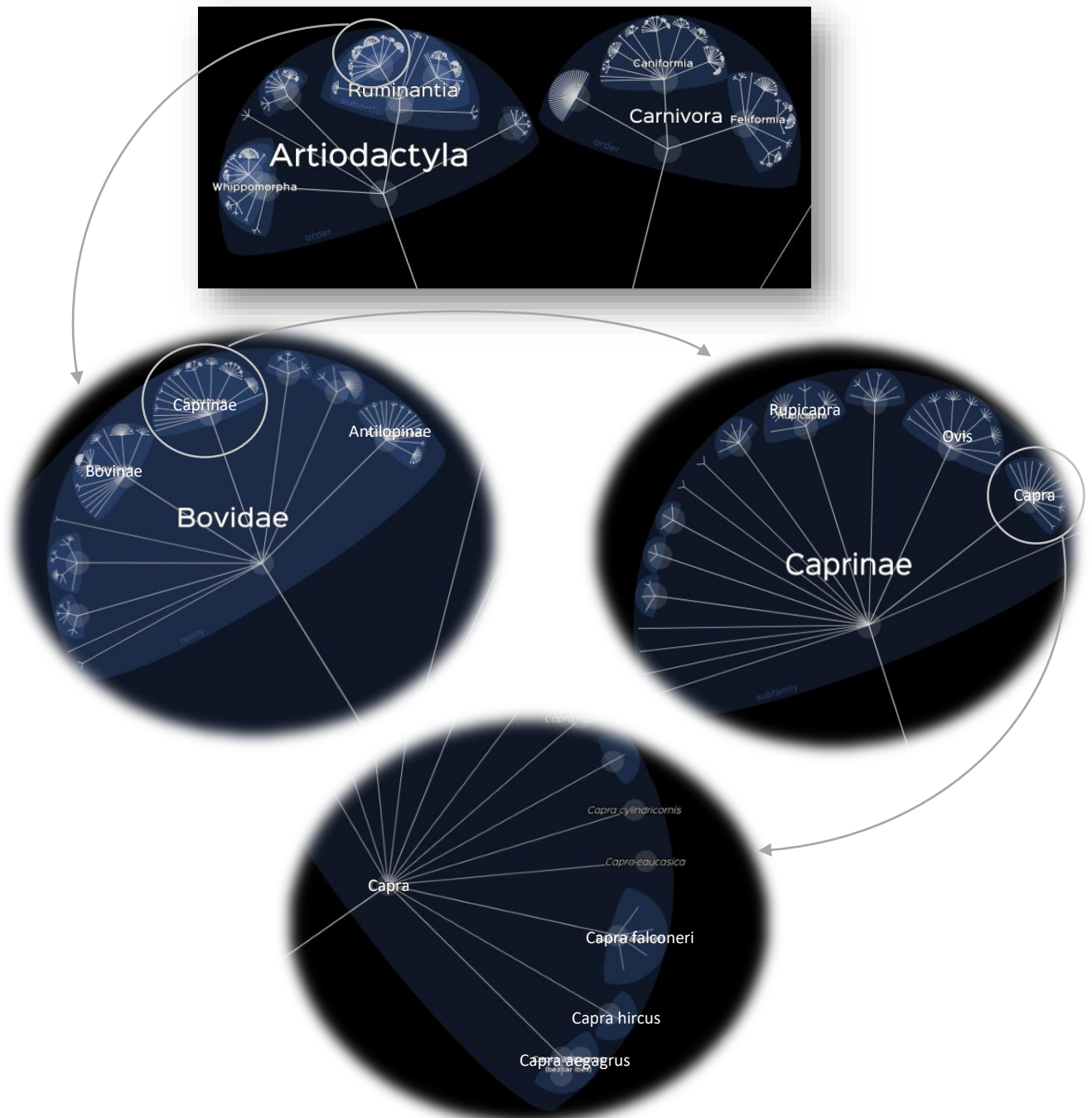


Figure 1 : Classification phylogénétique de l'espèce caprine domestique (De Vienne 2016)

Les caprins domestiques ont été sélectionnés par l'Homme depuis près de 10 000 ans. Les sélections ont été réalisées en fonction des usages des animaux ou bien sous l'influence de l'environnement. Ces facteurs de sélection ont abouti à une différenciation de la population et à la formation de races. Par la suite, certaines races ont fait l'objet de sélection plus spécifique pour répondre à des objectifs de production précis. Ainsi, l'Homme a sélectionné de manière intensive certaines races pour produire de grandes quantités de lait (par exemple les races Alpine et Saanen) et d'autres pour être de fortes productrices de viande (tel que la race Boer) (Figure 2).



Figure 2 : Race Alpine, Saanen et Boer (de gauche à droite)

Aujourd'hui, plus de 600 races de chèvres sont présentes sur la planète (FAO 2015). Ces races diffèrent les unes des autres par leurs caractéristiques phénotypiques, reproductives et productives, ainsi que par leur adaptation à des conditions climatiques spécifiques.

2. Migration et arrivée à Mayotte

a. Du Croissant Fertile à l'Afrique

La chèvre domestique (*Capra hircus*) aurait été domestiquée il y a plus de 10 000 ans dans le Croissant Fertile, actuel Proche et Moyen Orient. La chèvre est l'une des plus anciennes espèces domestiquées, probablement la première espèce de ruminants (Peters, Von den Driesch, Helmer 2005).

De récentes recherches (Daly et al. 2018) ont montré que la chèvre domestique descendrait de plusieurs souches d'ancêtres sauvages ayant été domestiqués. Au moins 3 lignées ont été identifiées, provenant de 3 espaces géographiques distincts : Levant Sud, Anatolie et Plateau iranien. Ces lignées ancestrales auraient donné naissance aux populations actuelles d'Asie, d'Europe et d'Afrique (Figure 3). Le génome de la chèvre a commencé à être modifié par l'homme dès le Néolithique, les hommes sélectionnant les animaux sur la couleur des poils, la productivité, la stature et les capacités reproductives (Daly et al. 2018).

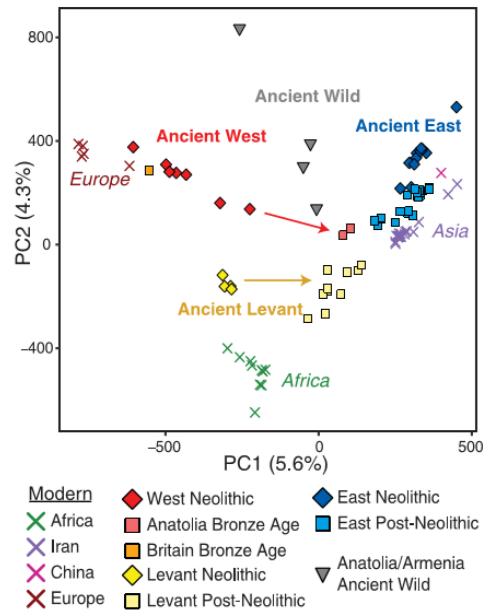


Figure 3: Principales composantes d'analyses de génomes de chèvres anciennes et actuelles (Daly et al. 2018)

La période de domestication a été suivie par des migrations importantes. Les hommes se sont dispersés sur tout le continent, emmenant leurs chèvres et autres animaux domestiqués avec eux. Les chèvres seraient arrivées en Europe il y a environ 7000 ans (Gkiasta et al. 2003) et en Afrique du Nord à la même époque (Hassan 2000). Elles auraient atteint le Sahara il y a 5000 ans et l'Est de l'Afrique il y a près de 4500 ans (Hassan 2000). Sur le continent asiatique, les plus vieux ossements de chèvres retrouvés indiquent une apparition du caprin en Chine il y a probablement 4 500 ans (Jing, Han, Blench 2008). Les chèvres sont arrivées sur le continent Américain au 15^{ème} siècle et l'Océanie au 18^{ème} siècle avec les migrations européennes (Porter 1996).

Après la propagation des chèvres au Néolithique, une structuration intra-continentale est apparue, comme il est possible de le voir en Europe et en Afrique. Une diversité spécifique en fonction des régions est observée. En Europe, les populations caprines se sont divisées selon les régions géographiques suivantes : Méditerranée Orientale, Méditerranée centrale, Alpes orientales, France continentale, Irlande et Europe du Nord. En Afrique, les races que l'on retrouve correspondent aux zones de l'Afrique de l'Ouest, du Nord-Est, de l'Est, du Sud-Est et de Madagascar. Sur le continent africain, les zones décrites précédemment correspondent à des races ayant des caractéristiques morphologiques similaires (Porter 1996).

b. De l'Afrique aux îles de l'Océan Indien

Les chèvres sont très probablement entrées en Afrique par l'isthme de Suez. Elles se sont ensuite propagées via deux voies : l'une vers l'ouest et l'autre vers le sud le long de la côte nord-est du continent (Hassan 2000). Cette théorie de propagation rapide des petits ruminants semble en accord avec les découvertes actuelles. Quelques migrations secondaires ont eu lieu par la suite, notamment de l'Europe vers l'Afrique du Nord via le canal de Gibraltar et de l'Asie du Sud-Ouest jusqu'en Afrique du Nord-ouest (Pereira et al. 2009).

Les Comores auraient été temporairement habité 1 000 ans av J-C, mais l'habitat n'a été permanent qu'au premier millénaire, très probablement entre le 6^{ème} et 7^{ème} siècle. Les Africains du peuple Bantoue auraient été les premiers à s'installer à Mayotte, puis les peuples malgaches, austronésiens

(Indonésie), arabes et swahilis ont colonisé l'île au fil des siècles (Cheke 2010). D'après des vestiges sur les sites de Koungou et de Dombéni, 2 races de chèvres ainsi que d'autres animaux domestiques seraient présents sur l'île depuis le 8^{ème} siècle (Allibert 1984). Les différents peuples qui ont colonisé les Comores ont amené avec eux des animaux domestiques qu'ils utilisaient pour différents services. Mayotte est colonisée par les Portugais puis les Français vers le 15^{ème} siècle (Services de l'État à Mayotte 2015). Les premiers colons européens ont annoncé avoir rencontré des ruminants, dont des chèvres locales, à leur arrivée sur l'île de Mayotte (Cheke 2010). Les européens utilisent l'île comme lieu de ravitaillement sur la route des Indes, ce qui fait de Mayotte une base de réception des produits et animaux européens et asiatiques (Services de l'État à Mayotte 2015).

Ainsi, les premières chèvres mahoraises sont probablement arrivées d'Afrique, puis, au fil des colonisations, des croisements se sont produits avec des chèvres importées d'Afrique (Afrique de l'Est et Madagascar), d'Asie (Proche Orient, Indonésie, Inde et Chine) et d'Europe (Portugal et France) (Figure 4).

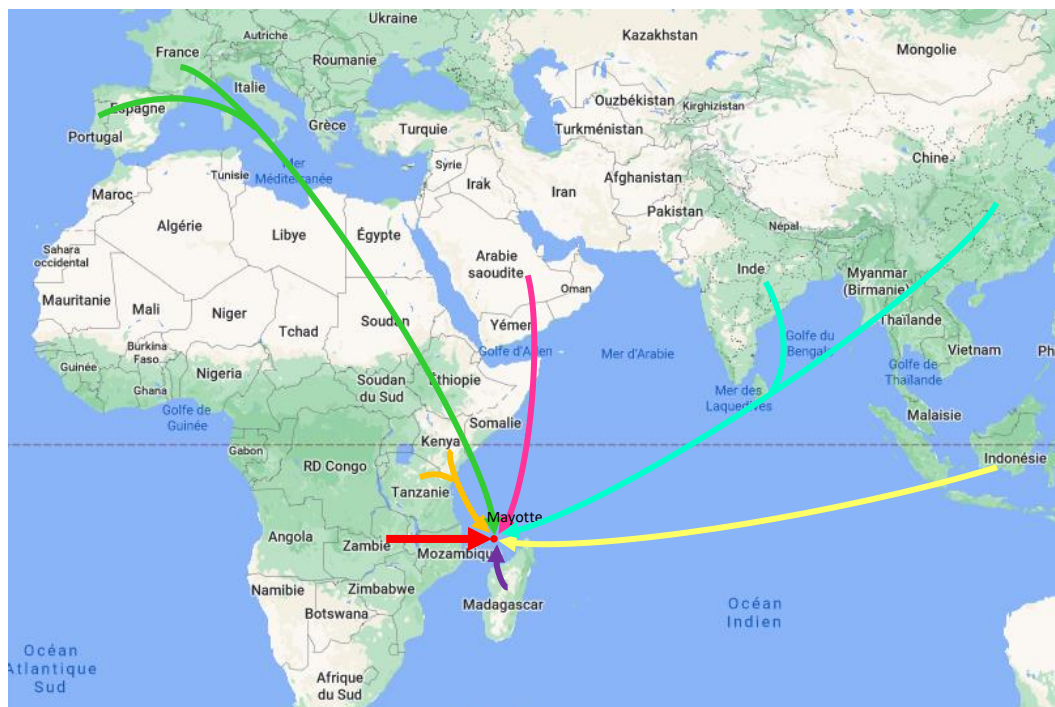


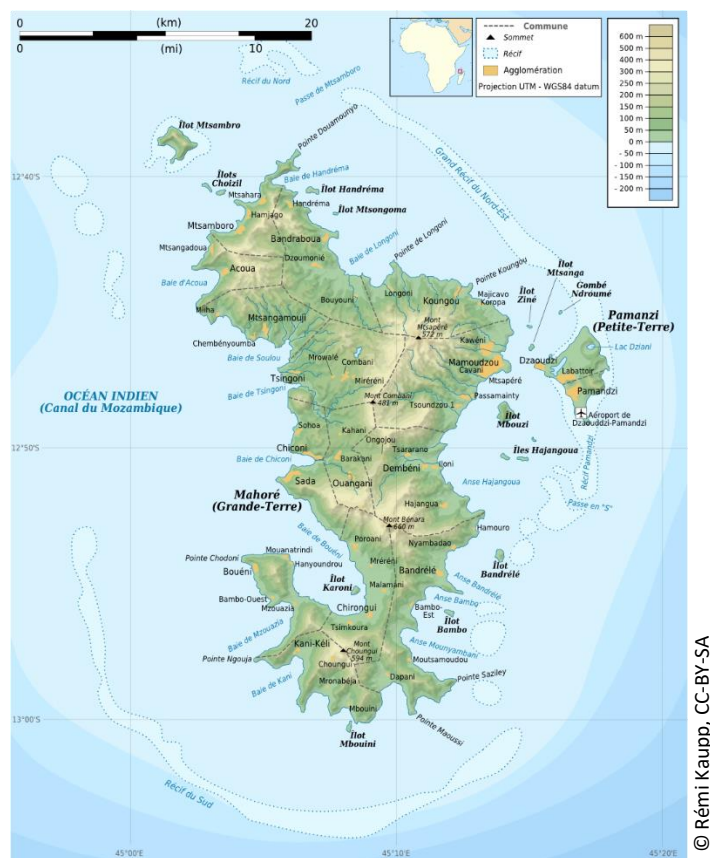
Figure 4: Flux humains et animaux vers l'île de Mayotte au fil des siècles

3. L'agriculture à Mayotte

a. L'île de Mayotte

Mayotte est une île française située dans l'archipel des Comores. Elle se trouve entre l'équateur et le tropique du Capricorne, à près de 8 000 km de la métropole (Ministère des Outre-Mer 2016). À 300 km de Madagascar et 67 km d'Anjouan, Mayotte est localisée entre le canal du Mozambique et l'océan Indien (Wikipédia 2020).

La superficie de l'île est de 376 km². Mayotte est constituée de deux îles principales, grande terre et petite terre, séparées par un bras de mer de 2 km de large (Figure 5). Une trentaine de petits îlots entourent l'île principale. Le tout est encerclé d'un lagon de plus de 1 500 km² (Services de l'État à Mayotte 2015; Ministère des Outre-Mer 2016).



© Rémi Kaupp, CC-BY-SA

Figure 5: Carte topographique de Mayotte

D'origine volcanique, Mayotte est l'île la plus ancienne de l'archipel des Comores. Sa formation remonterait à plus de 8 millions d'années. Le relief de l'île est accentué, on retrouve des traces d'anciens cratères (Services de l'État à Mayotte 2015). L'île principale est pentue et formée de 6 massifs érodés (Ministère des Outre-Mer 2016). Les côtes très découpées sont entourées de mangroves (Services de l'État à Mayotte 2015).

Le climat est tropical humide avec 2 saisons. Nous distinguons la saison des pluies, de novembre à avril, et la saison sèche, de juin à septembre. Durant la saison des pluies, les températures sont élevées (entre 27 et 30°C) et le taux d'humidité est important. La majorité des précipitations (près de 80%) apparaissent durant cette saison. Pendant la saison sèche, les pluies sont plus rares et la température moins importante (entre 20 et 25°C) (Ministère des Outre-Mer 2016). Les températures sont globalement homogènes sur l'île et ont une faible amplitude journalière et annuelle. En revanche, les précipitations sont réparties de manière hétérogène, le nord de l'île reçoit presque le double de pluie que le sud (Météo France 2020). Mayotte bénéficie d'une barrière naturelle aux cyclones tropicaux grâce à la présence de Madagascar situé à l'est de l'île (Wikipédia 2020).

L'île de Mayotte est très peuplée. Elle a la plus forte densité de population des régions d'outre-mer, avec près de 682 habitants par km² en 2017 (Wikipédia 2020). Mayotte est le 101^{ème} département français, acquérant son statut en 2011. C'est à la fois un département et une région (Wikipédia 2020).

L'île de Mayotte aurait été peuplée par le peuple bantoue entre le V^{ème} et le VIII^{ème} siècle. Autour du IX^{ème} siècle, le commerce est très important sur l'île, les matières premières circulent entre Madagascar et le nord de l'océan Indien. Au XII^{ème} siècle, une succession d'invasion arabe apporte la culture et la religion musulmane. Vers le XV^{ème} siècle, les portugais et français arrivent à Mayotte et utilisent l'île

comme point de ravitaillement dans la traversée vers les Indes. En 1841, le sultan Andriantsouli cède Mayotte à la France pour protéger l'île des attaques comoriennes. À partir de 1886, la France étend son protectorat sur le reste des îles comoriennes. En 1946, l'archipel des Comores devient officiellement Territoire d'Outre-Mer. 28 ans plus tard, suite à un référendum, Mayotte émet la volonté de rester française alors que les 3 autres îles comoriennes deviennent indépendantes. En 2009, un nouveau référendum énonce que le peuple mahorais souhaite la départementalisation. En 2011, Mayotte devient un département d'outre-mer. Depuis 2014, elle a accédé au statut de région ultra périphérique de l'Union Européenne (Services de l'État à Mayotte 2015).

b. Le contexte agricole

L'agriculture et la pêche sont des activités traditionnelles principalement familiales dans un but d'autoconsommation ou de complément de revenus. La surface agricole utilisée représente plus de la moitié de la surface de l'île (22 257 hectares). En 2009, plus de 20 700 exploitations agricoles ont été répertoriées sur le territoire (Ministère des Outre-Mer 2016).

Lors du recensement agricole de 2010, plus de 15 700 exploitations ont été répertoriées. Cela représente près de 60 000 personnes concernées, ce qui correspond à un tiers des habitants de Mayotte (selon le recensement de 2007). Cependant, parmi ces 60 000 personnes, seuls 48% sont actifs au sein des exploitations, les autres ne pratiquent pas l'activité agricole (AGRESTE 2011).

En moyenne, une exploitation agricole est composée de 3,8 personnes, mais seuls 1,8 personnes sont des actifs agricoles. 44% des exploitations agricoles ne sont composées que d'une ou 2 personnes : l'exploitant et son conjoint, plutôt âgés (AGRESTE 2011).

La jeunesse est présente, plus de 53% des membres des exploitations agricoles ont moins de 25 ans (Figure 6). Cependant, cela est peu par rapport à l'effectif de cette tranche d'âge dans la population mahoraise. Les jeunes, qui reprenaient auparavant l'exploitation agricole des parents, ont tendance à déménager proche des villes offrant des emplois, ce qui conduit au vieillissement de la population agricole mahoraise (AGRESTE 2011).

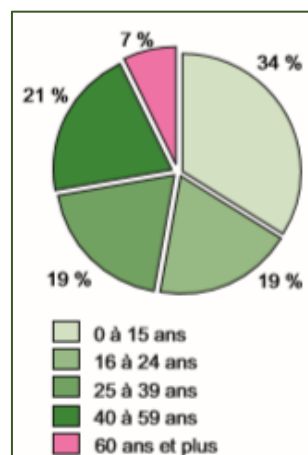


Figure 6: Répartition de la population agricole par tranche d'âge selon le recensement agricole de 2010 (AGRESTE 2011)

La main d'œuvre extérieure à l'exploitation ne concerne que 5% des exploitations agricoles. Les exploitants y ont principalement recours pour les activités d'entretien des cultures vivrières, la gestion des troupeaux bovins et le gardiennage. Moins fréquemment, cette main d'œuvre peut être utilisée pour les cultures maraichères et l'élevage des petits ruminants (AGRESTE 2011).

En moyenne, chaque exploitant cultive 0,45 ha (Figure 7). Au total, près de 7 100 ha sont cultivés sur l'île. 44% des exploitations sont très petites, faisant moins de 0,25 ha. Seuls 2% des exploitations possèdent 2 ha ou plus (AGRESTE 2011). 92% de la surface cultivée correspond à la culture vivrière traditionnelle, à savoir la banane, le manioc, l'embrevade et le maïs. La banane et le manioc sont les cultures vivrières principales, avec plus de 65% des surfaces consacrées aux cultures vivrières. L'agriculture mahoraise a pour vocation première de satisfaire les besoins locaux (AGRESTE 2011).

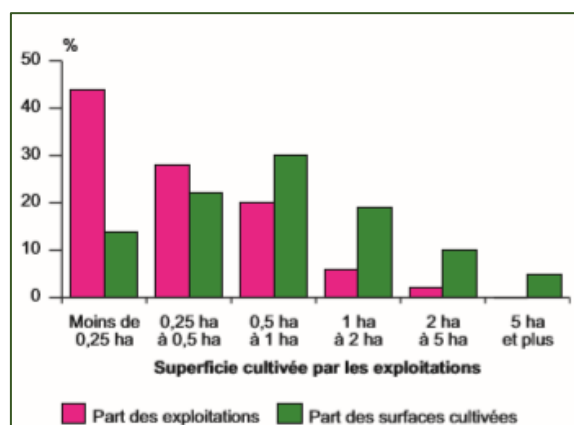


Figure 7: Répartition des exploitations selon les surfaces cultivées, recensement agricole de 2010 (AGRESTE 2011)

Le centre de l'île est la principale zone agricole, du fait de ses conditions pédoclimatiques très bonnes et de la proximité de Mamoudzou, grand centre urbain (AGRESTE 2011).

4. L'élevage mahorais de petits ruminants

a. L'élevage de petits ruminants

En 2010, un recensement des exploitations agricoles mahoraises élevant des petits ruminants a été effectué par la DAAF (Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt). Près de 2 200 exploitations ont été répertoriées, regroupant au total plus de 11 500 caprins. Ces élevages d'ovins-caprins comptent entre 5 et 10 têtes en moyenne. L'élevage caprin est peu structuré et difficilement différenciable de l'élevage ovin. À Mayotte, l'élevage de chèvre est encore traditionnel, les chèvres sont élevés pour la viande. Les caprins sont généralement conduits à l'attache ou parqués (AGRESTE 2011).

Il existe une grande diversité d'élevage de petits ruminants à Mayotte. Les élevages recensés ont été classés en 5 groupes homogènes selon les facteurs qui les caractérisent. Un premier groupe d'élevage se distingue par des exploitations de petite taille avec un faible effectif caprin. Un deuxième groupe rassemble des élevages de grande taille avec un effectif caprin important. Ce groupe est axé sur une intensification de la production de petits ruminants. Un troisième groupe comprend des élevages intensifs mais avec un effectif caprin réduit. Un quatrième groupe reprend des élevages plutôt isolés avec un accès difficile. Ce sont des élevages pluriactifs qui regroupent généralement des activités d'élevages de petits ruminants et de volailles ainsi que de cultures vivrières et fruitières. Le dernier groupe identifié est un groupe d'élevages considérés comme en évolution, avec des éleveurs en voie d'intensification de leur production (Janelle et al. 2013).

Les élevages caprins sont répartis sur tout le territoire de Mayotte. Les exploitations sont très présentes le long du littoral et dans les terres, mais très peu au niveau des zones de relief (Mont Bénara, Mont Choungui, Mont Combani). Il est commun de trouver des troupeaux caprins au cœur des

villages : les chèvres sont généralement gardées dans un enclos proche de l'habitation de l'éleveur, parfois même dans la cour de la maison. Des troupeaux sont également présents en zone rurale, parqués dans des enclos proches des habitations ou isolés sur des parcelles.

Parmi 67 éleveurs caprins enquêtés, seuls la moitié (52%) récupèrent le fumier des animaux pour épandre sur les cultures. Près de 57% des éleveurs exercent leur métier sous l'influence d'un impact socio-culturel, très souvent lié à un héritage familial.

Les ventes se font principalement à des particuliers en vente directe sans réservation. Les animaux sont vendus vivants et parfois abattus sur l'exploitation par un abatteur. Un bouc se négocie en moyenne 372€, le prix variant de 150€ à 600€. Une chèvre se vend entre 100€ et 450€, avec une moyenne à 292€. Les animaux sont principalement vendus pour avoir de la trésorerie sur l'exploitation (données de 2013 non publiées). L'autoconsommation est assez présente, plus de la moitié des éleveurs la pratique régulièrement. 12% des éleveurs ne consomment jamais leurs animaux, et 28% seulement pour les fêtes (données de 2013 non publiées).

L'absence de structures d'abattages et d'ateliers de collecte-transformations sont un frein au développement de la filière viande à Mayotte. Selon une enquête de 2013 (données non publiées), dans leur futur, beaucoup d'éleveur (60%) ont pour projet d'augmenter leur cheptel et 24% souhaitent agrandir leur exploitation s'ils obtiennent des subventions ou des ressources. Plus de la moitié des éleveurs (57%) ont une vision optimiste de l'élevage dans les années à venir, et 15% ont une vision neutre. Dans leur futur, près de la moitié des éleveurs ne souhaite aucune amélioration de leur situation, contre près d'une autre moitié qui souhaite avoir accès aux subventions (données de 2013 non publiées).

b. Problématique d'accès au foncier

L'accès à la terre représente l'une des principales difficultés au développement de l'agriculture. Les traditions orales de la société mahoraises font qu'il existe peu de documents écrits attestant la propriété de la terre. Seuls 23% des agriculteurs déclarent avoir un titre de propriété pour la terre qu'ils exploitent (AGRESTE 2011). Beaucoup d'agriculteurs exploitent donc sans titres ou sans baux, ce qui les priverait d'aides telles que celles de la PAC (Politique Agricole Commune) (Mayotte La 1ère 2020).

L'accès au foncier est très difficile pour les jeunes agriculteurs souhaitant s'installer. Des campagnes ont lieu pour inciter les propriétaires n'exploitant pas leurs terres à les louer aux jeunes agriculteurs (Mayotte La 1ère 2020). Cela permet aux agriculteurs ne possédant pas de terre et ne pouvant pas en acheter d'avoir recours à la location pour leurs activités de production.

Les agriculteurs habitent dans les villages, souvent éloignés de plusieurs kilomètres des parcelles qu'ils cultivent ou des animaux qu'ils élèvent (Figure 8). En moyenne, un agriculteur parcourt 3 km, souvent à pied, pour pouvoir se rendre sur son lieu d'exploitation. Seuls 3% des exploitations agricoles se trouvent à proximité (moins de 100 mètres) de l'habitation de l'agriculteur. Cette distance importante entraîne des difficultés pour l'entretien et la surveillance des cultures et des animaux (AGRESTE 2011).

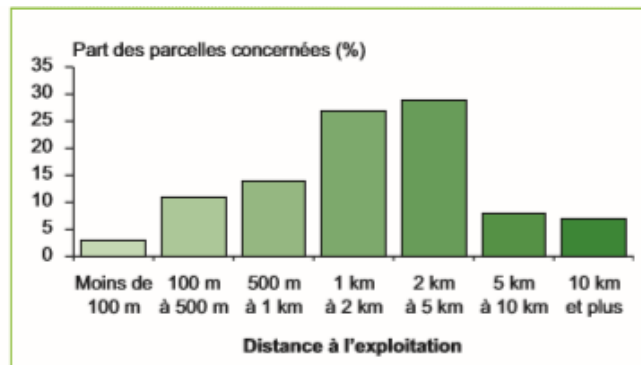


Figure 8: Répartition des parcelles selon leur distance à l'exploitation, recensement agricole de 2010 (AGRESTE 2011)

L'éloignement des parcelles peut s'expliquer par différentes raisons. Tout d'abord, la loi littorale interdit la construction d'habitation en dehors de la zone urbaine. Cette loi concerne toute l'île et ne permet donc pas aux agriculteurs de construire leur maison à proximité directe de leur parcelle. De plus, la disponibilité des terres cultivables a également une influence : les agriculteurs habitant des communes longeant des réserves forestières doivent parcourir plusieurs kilomètres pour trouver des terres qu'ils sont en droit de cultiver. Les difficultés d'accès au foncier jouent un rôle prépondérant dans l'éloignement des parcelles (AGRESTE 2011).

c. Contexte sanitaire

Un questionnaire réalisé en 2013 sur une soixantaine d'éleveurs d'ovins-caprins (données non publiées) indique plus de 80% des éleveurs ne séparent pas les animaux malades du reste du troupeau, ce qui peut être vecteur de contamination. Seul 21% du cheptel caprin bénéficie de compléments alimentaires (données de 2013 non publiées). En 2013, le taux de vaccination était faible (22,2%). Ce chiffre peut être expliqué par le faible niveau de sensibilisation des éleveurs. Seuls 44% des éleveurs mettent en place des pratiques contre les vols d'animaux (données de 2013 non publiées).

52,37% des éleveurs ne font jamais venir le vétérinaire. Certains se déplacent chez le vétérinaire pour récupérer les produits dont ils ont besoin. 25% des éleveurs ne font venir le vétérinaire que s'il y a un problème avec une chèvre (blessure, maladie grave, etc.).

Concernant l'environnement d'élevage, la grande majorité des animaux vivent sur de la terre (95,52% des troupeaux). Seuls 7,46% des troupeaux ont accès à un espace herbagé et 8,96% des troupeaux caprins ont accès à du béton. Près de la moitié des troupeaux caprins (47,76%) ont accès à des supports en bois, très souvent des palettes.

d. Absence d'organisation des schémas de sélection de ruminants

L'allotement est une pratique d'élevage peu pratiquée sur l'île. Sur 67 élevages enquêtés lors de la première phase (2021), 76,12% des éleveurs conduisent leur troupeau en un seul lot. 17,91% des éleveurs séparent leurs caprins en 2 lots et 5,97% des élevages ont entre 3 et 5 lots de chèvres. Les allotements sont faits sans critères spécifiques pour 56% des élevages allotant, 25% divisent leurs animaux en fonction du sexe et 19% différencient en fonction de l'âge et du sexe.

Ainsi, dans la majorité des élevages, tous les caprins sont conduits ensemble. Cela amène de la compétition entre les mâles de différentes classes d'âge pour la reproduction. Les accouplements sont contrôlés dans 31% des élevages. La reproduction n'est pas saisonnée, elle a lieu toute l'année. La totalité des éleveurs utilisent la monte naturelle et ont recours à leur propre bouc ou à celui d'un

membre du voisinage. L'insémination artificielle caprine est quasiment inexistante à Mayotte car, jusqu'à présent, il n'y avait pas d'inséminateur certifié.

La plupart des mâles sont vendus ou abattus avant d'avoir pu se reproduire. L'élevage caprin fait l'objet d'une sélection qui n'est pas forcément positive. Cela se confirme avec les résultats de l'enquête sur 61 éleveurs d'ovins-caprins en 2013 (données non publiées) : plus de 50 % des éleveurs n'ont aucun critère de choix de géniteur. En plus de cela, la consanguinité est très présente dans les élevages et s'accroît à chaque génération. Près des ¾ des éleveurs utilisent des géniteurs provenant de leur propre exploitation, sachant que la quasi-totalité des agriculteurs gardent des chevrettes de renouvellement issues de leur propre élevage. De plus, plus de 85% des éleveurs ne renouvelle jamais leurs géniteurs. Cela risque de mener à une diminution des performances globales du troupeau (données de 2013 non publiées).

Dans un but d'amélioration rapide de la croissance et du gabarit des cabris, des caprins de race Boer ont été introduits sur l'île en 2004. Par manque de suivi généalogique, il n'est pas possible de connaître l'étendu des croisements entre cette race importée et la race locale caprine (Janelle et al. 2013).

II. Problématique

1. Émergence de cette étude

Cette étude répond à la volonté des acteurs locaux de l'élevage mahorais de mettre en place des actions pour préserver et valoriser les ressources génétiques locales. Le zébu mahorais a été le premier à bénéficier de cette étude, suivi par le mouton puis la chèvre mahoraise.

Deux actions sont à mener dans le cadre de cette étude :

- Faire reconnaître la race caprine mahoraise auprès du Ministère de l'Agriculture dans le but de la préserver.
- Améliorer les connaissances sur la chèvre mahoraise au travers de la détermination de son origine, ses caractéristiques phénotypiques et génétiques.

2. Le projet DEFI ANIMAL

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet DEFI ANIMAL 2, qui réunit plusieurs acteurs de la filière animale mahoraise regroupés en consortium : CAPAM (Chambre de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Aquaculture de Mayotte), COMAVI (COopérative MAhoraise d'AVIculture), LPA (Lycée Professionnel Agricole de Coconi), CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement).

a. Objectif du projet

L'objectif du projet DEFI ANIMAL 2 est de développer les filières de ruminants et de volailles mahoraises de manière durable, au travers de 2 actions. L'action « Santé » du projet vise à limiter l'impact des contraintes sanitaires dans les élevages. L'action « REANIM » a pour but de caractériser et valoriser les ressources animales locales de Mayotte.

Plus spécifiquement, l'objectif de l'action « REANIM » est d'améliorer les performances des élevages en valorisant les races spécifiques et adaptées au territoire mahorais. Ce projet vise plus particulièrement à caractériser les populations locales de ruminants sur les aspects zootechniques, phénotypiques et génétiques. Le tout est réalisé dans le but de proposer des outils de gestion des

populations et de mettre en place un programme d'amélioration des productions animales basé sur les races locales.

Le zébu et le mouton ont déjà été caractérisés dans le cadre du projet DEFI ANIMAL en 2016. L'étude suivante ne portera donc que sur la caractérisation de la chèvre mahoraise.

Les questions auxquelles nous voulons répondre dans cette étude sont les suivantes :

Comment se situe la population caprine mahoraise en termes d'effectif, d'évolution de population et de consanguinité ? Quels sont ses caractéristiques morphologiques, génétiques et d'adaptation à son environnement ? Quel est l'origine de la chèvre mahoraise et comment se situe-t-elle par rapport aux races environnantes (Madagascar, Afrique de l'Ouest) ?

b. Calendrier de l'étude

Le calendrier de l'étude se divise en 8 périodes (Tableau 1).

Tableau 1: Calendrier de l'étude avec les périodes et les actions associées

Périodes	Actions
Novembre 2020 - Décembre 2020	Écriture du protocole
Janvier 2021 - Février 2021	Recensement des élevages et enquêtes auprès des éleveurs
Mars 2021 - mai 2021	Relevé des données morphologiques (quantitatives et qualitatives), prélèvements sanguins et prélèvements de fèces
Mai 2021	Préparation des échantillons ADN et analyses coprologiques
Juin 2021 - Aout 2021	Analyses des données phénotypiques
Aout 2021 - Octobre 2021	Analyses des données génétiques
Aout 2021 - Décembre 2021	Rédaction du rapport technique, des fiches résultats, des fiches techniques et des posters.
Septembre 2021 - Novembre 2021	Restitution des résultats aux éleveurs et aux partenaires

III. Analyse des performances du caprin mahorais

1. Matériels et méthodes

a. Acquisition des données

Les données issues de 2 enquêtes différentes ont été analysées. La première enquête de 2012 à 2015 a fourni des données portant sur la structure de la population caprine, les performances de production et de reproduction. La deuxième enquête, datant de 2021, a permis de récolter des données sur la structure de la population caprine et les pratiques d'élevages via un échantillon représentatif.

i. Données issues de l'enquête de 2012 à 2015

Les données présentées sont issues du programme PAZEM (Programme d'Appui Zootechnique aux Éleveurs Mahorais). Elles ont été récoltées du 23/10/2012 au 23/06/2015. Des visites bimensuelles ont été effectuées dans 24 élevages de petits ruminants pour faire l'inventaire des animaux présents dans les exploitations au moment de la visite et réaliser des pesées.

Les données ont été récoltées sous format papier puis retranscrites dans une base Access en format LASER nommée « Mayotte_pr » (Figure 9).

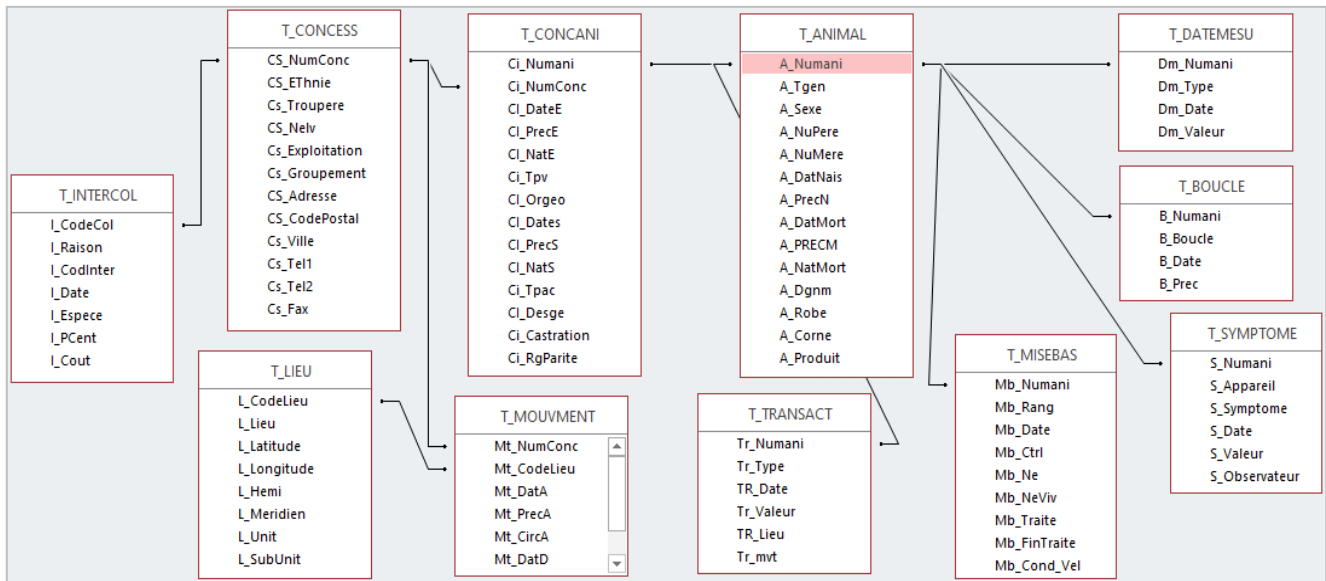


Figure 9: Relations entre les différentes tables de la base Access « Mayotte_pr »

ii. Données issues de l'enquête de 2021

Une enquête de la composition des troupeaux et des pratiques d'élevage a été réalisée auprès de 67 éleveurs caprins en janvier/février 2021. Le but est de recenser le nombre de caprins par élevage ainsi que le nombre de caprins locaux. En effet, faute de base de suivi à jour à Mayotte, cette étape est indispensable à l'estimation de l'effectif caprin local via un échantillon représentatif. Cet effectif a été estimé au travers d'un échantillon d'éleveurs parmi lesquels nous avons ensuite choisi les animaux à phénotyper et génotyper.

Les données ont été récoltées via l'application WEPI puis enregistrées en format CVS pour analyse. Les données seront également retranscrites ultérieurement dans une base Access.

Cette première phase d'enquête a permis de récolter les informations suivantes sur chacun des 67 élevages visités.

- Information d'élevage :
 - Numéro d'élevage
 - Nom de l'éleveur
 - Commune
 - Latitude
 - Longitude
 - Race des chèvres
- Composition du troupeau :
 - Nombre de femelles reproductrices
 - Nombre de mâles reproducteurs
 - Nombre de mâles non reproducteurs
 - Nombre de mâles castrés
 - Nombre de chevreaux mâles
 - Nombre de chevreaux femelles

- Nombre de femelles de renouvellement

Pour chaque catégorie d'animaux, le nombre total de caprins toutes races confondues et le nombre de caprins locaux ont été relevés.

La première phase d'enquête est également composée de 6 variables (Tableau 2) avec plusieurs modalités possibles en fonction des pratiques de l'éleveur.

Tableau 2 : Variables et modalités composant l'enquête de la première phase

Variables	Modalités
Type d'exploitation	Paysanne
	Commerciale
	Centre de sélection
Conduite de l'élevage	Lot unique
	Lots différenciés selon l'âge
	Lots différenciés selon le sexe
	Lots différenciés
Tempérament du troupeau	Docile
	Moyennement docile
	Sauvage
Pratiques d'accouplement	Contrôlé
	Non contrôlé
	Saisonnier
	Non saisonnier
	Monte naturelle
	Insémination artificielle
Type de production	Lait
	Viande
	Fibres
	Fumier
Influence socioculturel	Oui
	Non

Les élevages sélectionnés pour cette étape sont répartis de manière représentative sur les différentes communes mahoraises (Figure 10). C'est à partir des effectifs de caprins locaux de cette enquête que l'échantillon d'animaux à phénotyper et génotyper dans chaque commune a été calculé.



Figure 10 : Carte de Mayotte avec le nombre d'éleveurs enquêtés par village (chiffre en rouge) en première phase d'enquête

Les communes de Dzaoudzi et Pamandzi en Petite Terre n'ont pas pu faire l'objet d'enquêtes pour cause de confinement lors de la première phase.

b. Analyses des données

i. Données issues de l'enquête de 2012-2015

Les données ont été analysées avec le logiciel R.

L'étude démographique a nécessité l'utilisation du package Laserdemog développé par l'UMR SELMET (Lesnoff et al. 2014). Une décomposition verticale a été faite pour analyser la structure de la population et une décomposition horizontale mensuelle a permis le calcul des taux démographiques, tel que les mises-bas, la mortalité et la prolificité. Pour étudier les performances des caprins, le poids des animaux a été récolté à différents stades de croissance. Les pesées n'avaient lieu que deux fois par mois, les caprins pesés ne l'ont donc pas tous au même âge. Ainsi, les poids ont été recalculés pour différents âges types : 30, 90, 180 et 360 jours, estimées par interpolation ou extrapolation

ii. Données issues de l'enquête de 2021

Les données ont été analysées avec le logiciel R. Elles étaient contenues dans un fichier au format CSV extrait de l'application d'enregistrement de questionnaire WEPI.

Des analyses statiques descriptives ont été faites pour déterminer la moyenne et l'écart-type de chaque catégorie d'animaux ainsi que le ratio mâle/femelle. Pour les variables qualitatives, des tables reprenant la fréquence et le pourcentage de chaque modalité ont été construites.

2. Structure de la population caprine

Concernant la structure des troupeaux caprins (toutes races confondues), l'effectif moyen par troupeau est $16,57 \pm 13,77$ animaux. Le nombre de tête par élevage est donc hétérogène sur l'île, avec un minimum de 4 animaux et un maximum de 80. Il y a en moyenne $7,21 \pm 6,28$ chèvres adultes par troupeau et $1,81 \pm 1,59$ bouc reproducteur. Le ratio mâle reproducteur / femelle reproductrice varie de 0 à 2 selon les exploitations.

De 0 à 2 ans, l'effectif de caprins mâles et femelles présents dans les exploitations est globalement similaire. Au-delà de 2 ans, les caprins mâles ne sont présents qu'en effectif limité. Les chèvres restent dans les élevages jusqu'à 7 ans maximum. Au-delà de cet âge, plus aucun caprin adulte n'est recensé dans les exploitations agricoles (Figure 11). On observe une volonté de conservation des femelles adultes dans un but de pérennisation de l'activité de production (Janelle et al. 2013).

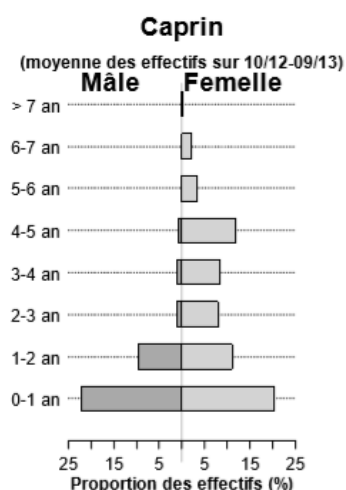


Figure 11: Pyramide des âges des troupeaux caprins, toutes races confondues, seules les animaux présents au début de chaque mois du suivi sont pris en compte (Janelle et al. 2013)

Parmi les caprins présents sur l'île, environ 70% sont de race locale, les autres sont des animaux de races importées ou issus de croisement avec des animaux de races importées.

Tableau 3 : Évolution de la proportion de différentes catégories d'animaux et d'élevages entre l'échantillon analysé de 2013 à 2015 et l'échantillon de 2021

	2013-2015	2021
Femelles reproductrices locales	78,30%	76,60%
Élevages avec des naissances de chevreaux locaux	82%	61%
Chèvre locales donnant naissance à des chevreaux locaux	89%	56%

Le pourcentage de femelles reproductrices de race locale dans la population est globalement resté stable entre 2013 et 2021 (Tableau 3). Cependant, le pourcentage de chèvres donnant naissance à des petits de race locale a fortement diminué, passant de 89% à 56% (Tableau 3). Cela signifie que le pourcentage de femelles reproductrices locales va fortement diminuer ces prochaines années car les

chèvres qui seront gardées pour le renouvellement du troupeau seront pour partie issues de croisements.

Le pourcentage d'élevages ayant un troupeau exclusivement de race locale diminue entre 2013 et 2021, baissant de 82% à 61% (Tableau 3). Tous les élevages de l'échantillon 2013-2015 qui avaient des animaux croisés pratiquaient le croisement depuis plusieurs générations de cabris. Par contre, l'échantillon de 2021 montre que près de 38% des élevages ont récemment adopté un modèle de croisement, c'est-à-dire il y a moins de 2 ans.

3. Performance de reproduction

Concernant la reproduction des chèvres, l'âge à partir duquel une femelle devient reproductrice est estimé à 12 mois (Janelle et al. 2013), mais cela dépend principalement du poids des chevrettes. Des études complémentaires devront être réalisées pour préciser ce chiffre.

Le taux de mise-bas est le plus élevé entre 2 et 3 ans, puis diminue après cet âge-là. Le taux de mise-bas annuel pour les chèvres est 81%. Une forte variabilité de ce taux est observée entre les élevages, montrant ainsi l'influence des pratiques d'élevage sur les performances de reproduction (Janelle et al. 2013).

Selon Janelle et al. (2013), la mortalité des caprins mahorais est assez basse. Les jeunes entre 0 et 1 an montrent la mortalité la plus élevée. Toutefois, les pratiques d'élevage ont une influence non négligeable sur la mortalité des jeunes.

Les chèvres mahoraises ne sont pas saisonnées, elles peuvent donc mettre bas toute l'année. La prolificité de la chèvre mahoraise est de 1,33, ce qui est faible par rapport à d'autres races de gabarit semblable tel que la chèvre Créole (prolificité de 2,13) (Alexandre 1991). Cependant, la prolificité dépend pour partie des pratiques de gestion du troupeau, principalement de l'alimentation et de la consanguinité.

4. Performances de production

Le poids moyen d'un chevreau mahorais à 1 mois est 4,8kg. Les chevreaux locaux pèsent en moyenne 7,25 kg à 3 mois et 17,5 kg à 1 an (Tableau 4).

Tableau 4: Poids moyen (kg) des caprins par catégorie et par type génétique, les effectifs sont précisés entre parenthèses (Janelle et al. 2013)

	Caprin local		Caprin croisé Boer	
	Mâle	Femelle	Mâle	Femelle
PAT moyen 1 mois	4.8 (10)	4.8 (11)	4.8 (29)	4.8 (22)
PAT moyen 3 mois	7.6 (11)	6.9 (12)	8.4 (25)	7.1 (21)
PAT moyen 1 an	18.6 (9)	15.5 (7)	16.4 (4)	13.8 (5)

La croissance des caprins locaux est supérieure à celle des caprins de type croisé en moyenne sur 1 an, mais les différences ne sont pas très marquées (Tableau 4, Figure 12). De même, les femelles ont une croissance inférieure aux mâles (Tableau 4).

Les poids sont similaires entre mâle et femelle à un mois (Tableau 4), mais à partir de 3 mois, une différence est observée entre les poids des mâles et des femelles. A 3 mois, les mâles pèsent 9% de plus que les femelles, et à un an, ils pèsent 17% de plus.

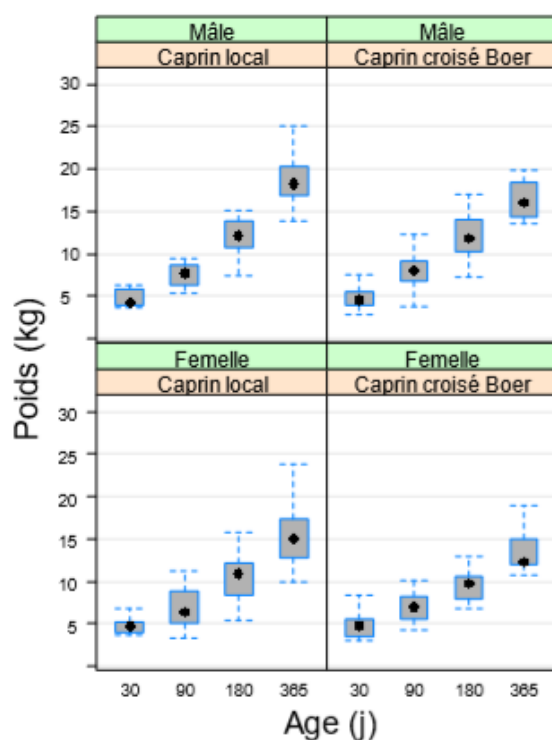


Figure 12: Poids à âge-type en fonction du sexe et du type génétique dominant. Le point indique la médiane, les limites inférieures et supérieures des boîtes indiquent les 1er (Q1) et 3ème (Q3) quartiles, les « moustaches » en pointillés indiquent les valeurs égales à $Q1 - 1.5 \times (Q3 - Q1)$ et $Q3 + 1.5 \times (Q3 - Q1)$

En moyenne, le GMQ (Gain Moyen Quotidien) des chevreaux locaux entre 1 et 3 mois est 41 g/j et celui des chevreaux croisés Boer entre les mêmes âges est 50 g/j. Entre 6 et 12 mois, le GMQ des caprins locaux est 32 g/ et celui des caprins croisés Boer est 22 g/j.

IV. Caractéristiques phénotypiques

1. Matériels et méthodes

a. Échantillonnage et choix des animaux

La caractérisation des caprins mahorais s'est déroulée du 22/03/2021 au 05/05/2021. 200 animaux provenant de 45 élevages répartis dans 14 communes ont été choisis pour le phénotypage. Le ratio mâle/femelle a été conservé par rapport à l'échantillon utilisé pour le questionnaire d'exploitation.

Le pourcentage de caprins à phénotyper par commune a été déterminé selon le nombre de caprins mâles et femelles relevés par commune lors de la première visite (Tableau 5).

Tableau 5 : Méthode d'échantillonnage de la population de caprin mahorais pour l'étape de phénotypage.

Commune	Total caprins échantillonnés	Proportion caprins (commune/Mayotte)	Nombre de caprins à collecter (arrondis)	Nombre de caprins collectés (arrondis)	Dont femelles	Dont mâles
ACOUA	14	3%	6	6	6	0
BANDRABOUA	32	7%	15	17	12	5
BANDRELE	59	14%	27	26	21	5
BOUENI	1	0%	0	0	0	0

CHICONI	42	10%	19	20	15	5
CHIRONGUI	66	15%	30	30	25	5
DEMBENI	50	11%	23	23	20	3
DZAOUDZI	0	0%	0	0	0	0
KANI KELI	14	3%	6	7	5	2
KOUNGOU	44	10%	20	19	18	1
MAMOUDZOU	13	3%	6	10	9	1
MTSAMBORO	23	5%	11	6	6	0
MTSANGAMOUI	13	3%	6	6	4	2
OUANGANI	23	5%	11	11	8	3
PAMANDZI	0	0%	0	0	0	0
SADA	19	4%	9	9	7	2
TSINGONI	22	5%	10	10	9	1
TOTAL	435	100%	200	200	165	35

Le nombre de caprin à collecter ne correspond pas exactement au nombre de caprin collectés car des difficultés rencontrées lors des visites (diminution du nombre d'animaux dans le cheptel, perte du cheptel, impossibilités d'accès à l'élevage...) nous ont contraint à réajuster le nombre de caprin à collecter par commune. Ainsi, le ratio mâle-femelle et la proportion de caprin à collecter par commune a été respecté au mieux au vu des contraintes rencontrées. Le nombre définitif de chèvres et boucs collectés par commune a été actualisé à la fin de l'étude.

Parmi les 200 animaux phénotypés, 82,5% sont des femelles (Tableau 6). Les animaux choisis sont âgés d'au moins un an.

Tableau 6 : Répartition des caprins phénotypés par âge et par sexe

	Castré	Féminin	Masculin	TOTAL
1 - 1,5 ans	0	1	6	7
1,5 - 2 ans	0	6	11	17
2 - 3 ans	2	17	8	27
3 - 4 ans	0	30	7	37
+ 4 ans	0	111	1	112
TOTAL	2	165	33	200

Les principaux critères de sélection pour le choix des animaux à phénotyper sont les suivants :

- La commune pour avoir une représentativité géographique de la population.
- Le sexe pour respecter le ratio présent dans la population.
- L'âge pour ne sélectionner que des individus de plus d'un an, âge à partir duquel on considère que les caractéristiques spécifiques de la race sont présentes et que le développement de l'animal est suffisant.
- Le maintien des animaux dans le troupeau, a minima quelques mois après notre visite.

D'autres critères sur la composition du troupeau et la logistique de terrain ont également été prise en compte et sont décrits dans le protocole de caractérisation primaire du caprin mahorais.

b. Données récoltées

Sur la base des directives de la FAO (FAO 2013), 18 variables quantitatives et 26 variables qualitatives ont été relevées sur les individus phénotypés, et 2 variables qualitatives ont été récoltées sur les 45 troupeaux étudiés.

À l'échelle de l'individu, les variables quantitatives récoltées sont les suivantes :

Corps

Hauteur au garrot (**bleu clair**) : distance entre l'extrémité du sabot de la patte avant et la pointe du garrot

Longueur du corps (**rouge**) : distance entre la pointe de l'épaule et la pointe de la hanche

Tour de poitrine (**rose**) : mesure passant verticalement en arrière du garrot et au niveau du passage de la sangle, circonférence du thorax

Écart entre la pointe des épaules (**bleu foncé**) : distance entre la pointe des deux os des épaules

Longueur du cou (**violet foncé**) : distance entre la pointe de la joue et la pointe de l'épaule

Largeur du bassin (**jaune**) : distance entre les deux pointes de l'os du bassin

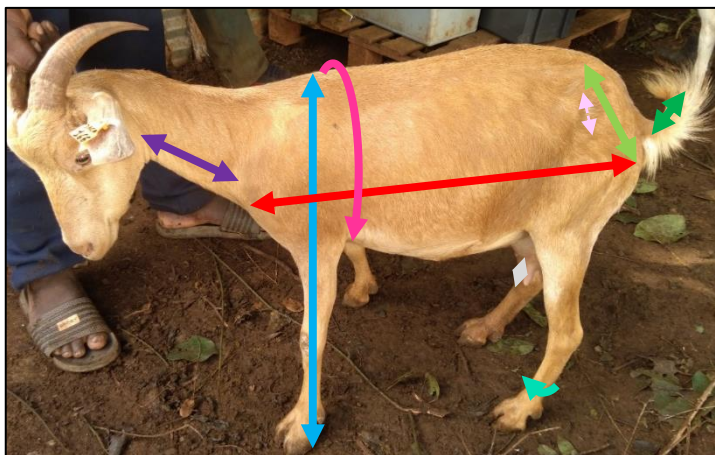
Longueur de la croupe (**vert clair**) : distance entre la pointe de l'os du bassin et la pointe de la hanche

Longueur de la queue (**vert foncé**) : distance entre la base et la pointe de la queue, la queue doit être tendue

Longueur des poils (**violet clair**) : longueur mesurée sur les poils au niveau de la croupe

Tour du canon (**cyan**) : circonférence du canon de la patte arrière

Longueur du trayon (**gris clair**) : distance entre l'extrémité du trayon et la mamelle



Tête

Longueur de la tête (**bleu clair**) : distance entre le sommet du crâne et le début du museau

Largeur de la tête (**orange**) : distance entre les os des yeux

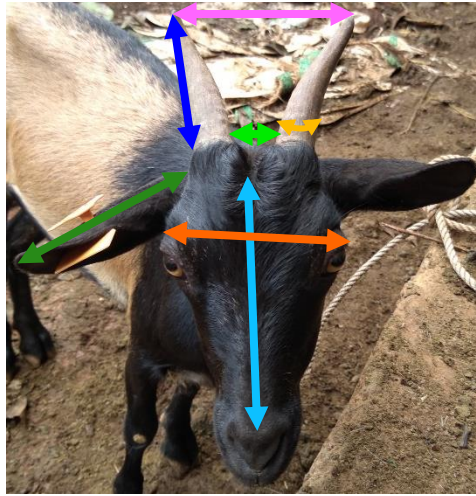
Longueur de l'oreille (**vert foncé**) : distance entre la base et la pointe de l'oreille

Longueur de la corne (**bleu foncé**) : distance entre la base et la pointe de la corne en suivant la forme de la corne

Écart entre la base des cornes (**vert clair**) : distance entre la base des cornes

Écart entre les pointes des cornes (**violet**) : distance entre la pointe des cornes

Circonférence de la base de la corne (**jaune**) : circonférence de la corne au niveau de sa base



Toutes les longueurs ont été mesurées avec un mètre ruban.

Le poids de 20 femelles adultes provenant de 3 élevages différents a été déterminé avec un peson de portée 50 kg ayant une précision de 200 grammes.

À l'échelle de l'individu, les variables qualitatives récoltées sont listées Tableau 7 :

Tableau 7: Variables qualitatives relevées à l'échelle de l'individu

	Variables
Corps	Patron de robe
	Couleur de base du patron
	Motif de la robe
	Proportion de pie
	Couleur principale de la robe
	Couleurs secondaires de la robe
	Couleur de la peau
	Types de poils
	Profil de la ligne du dos
	Profil de la croupe
	Couleur des onglons
	État d'engraissement
Tête	Marque en tête
	Présences de cornes
	Forme de la corne
	Orientation de la corne
	Symétrie des cornes
	Couleur des cornes

	Orientation de l'oreille
	Forme de l'oreille
	Profil facial
	Présence de pampilles
	Présence de barbe
	Présence de collerette
Organe femelle	Forme des mamelles
	Emplacement des trayons

Les variables et leurs modalités sont détaillées en Annexe 1.

À l'échelle du troupeau, les variables qualitatives récoltées sont énoncées Tableau 8 :

Tableau 8: Variables qualitatives relevées à l'échelle du troupeau

Cornes	Variables
	Présences de cornes
	Orientation de la corne

Les variables et leurs modalités sont détaillées en Annexe 2.

c. Enregistrements et bases de données

Les données de phénotypage ont été récoltées sur l'application Wepi depuis un téléphone portable. Les données sont ensuite extraites sous forme de fichier CVS. Les données sous forme CSV sont directement utilisables pour les analyses. Les données de phénotypage des individus seront rentrées dans Access ultérieurement.

d. Analyse des données

Les données ont été analysées avec le logiciel R. Pour les données quantitatives, les moyennes, écart-types et coefficients de variation pour chaque variable a été calculé. Des corrélations ont été effectuées entre chaque variable quantitative.

2. Résultats des données quantitatives

Mesures biométriques

Les mesures de plusieurs parties du corps indiquent la morphologie globale des caprins mahorais (Tableau 9).

Tableau 9: Moyenne, écart-type, minimum, maximum et coefficient de variation de 18 variables de mesures corporelles chez des caprins mahorais, tout âge et tout sexe confondu.

	Mesure en vif	Moyenne	Écart-type	Minimum ; maximum	Coefficient de variation
Corps	Hauteur au garrot	58,15	5,01	44 ; 86	8,61%
	Longueur du corps	63,01	7,80	45 ; 113	12,38%
	Tour de poitrine	69,45	6,78	54 ; 87	9,76%
	Écart entre la pointe des épaules	11,84	1,45	8 ; 16	12,21%
	Longueur du cou	20,24	3,44	13 ; 38	16,97%
	Largeur du bassin	12,69	1,67	8 ; 17	13,20%
	Longueur de la croupe	18,20	2,67	8 ; 25	14,67%
	Longueur du poils	2,30	1,50	0,5 ; 10	65,24%
	Longueur de la queue	12,96	1,83	7 ; 19	14,11%
	Tour du canon	8,03	0,97	5 ; 12	12,11%
Tête	Longueur de la tête	14,44	1,27	11 ; 18	8,80%
	Largeur de la tête	11,58	1,15	8 ; 15	9,90%
	Longueur de l'oreille	13,30	1,24	10 ; 17	9,35%
Cornes	Longueur de la corne	16,12	5,16	2,5 ; 36	32,00%
	Écart entre la base des cornes	2,42	0,64	0,5 ; 4	26,45%
	Écart entre la pointe des cornes	16,22	6,19	2 ; 44,5	38,15%
	Circonférence de la corne	10,21	2,00	5 ; 17	19,59%
Appareil reproducteur femelle	Longueur du trayon	3,20	0,69	1 ; 5	21,56%

Parmi les mesures biométriques du corps, 8 ont été représentées sous forme de graphique (Figure 13).

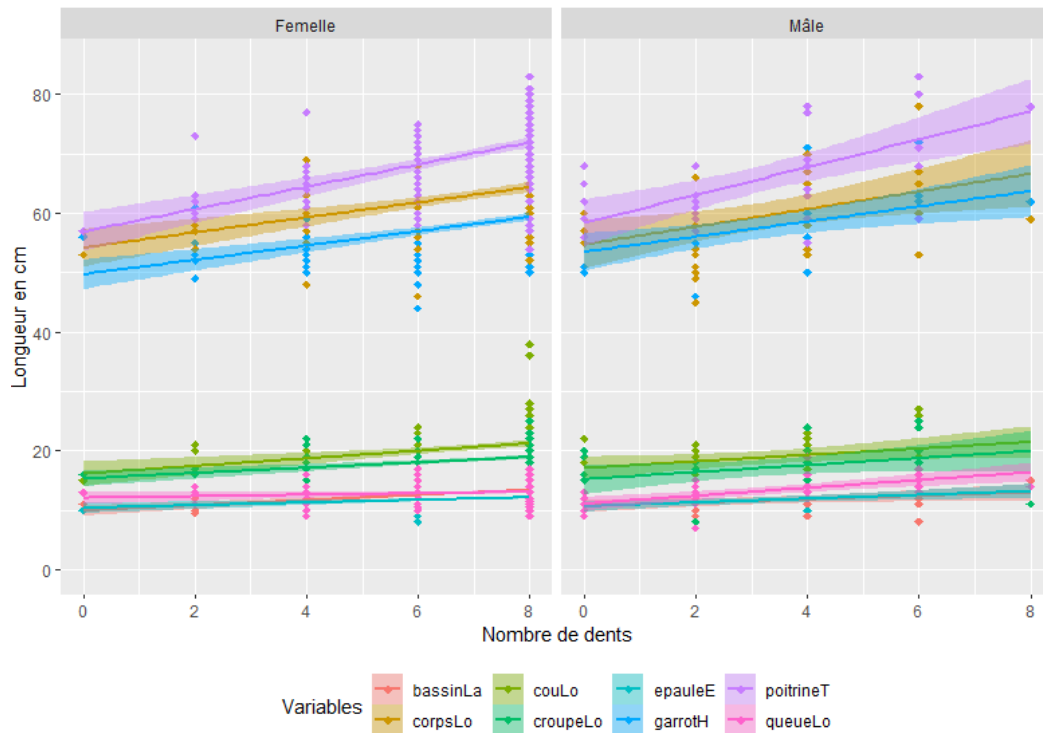


Figure 13 : Évolution de 8 mesures biométriques du corps en fonction du nombre de dents et du sexe des caprins mahorais

Le nombre de dents représente l'âge, ainsi 0 correspond à des animaux d'un an, 2 correspond à des caprins d'un an et demi, 4 correspond à des animaux de 2 ans, 6 à des animaux de 3 ans et 8 à des animaux de 4 ans et plus, c'est-à-dire des caprins adultes.

La Figure 13 montre que la valeur des variables du tour de poitrine, de la longueur du corps et de la hauteur au garrot augmente avec l'âge autant chez les mâles et chez les femelles. C'est également le cas pour les autres variables du corps.

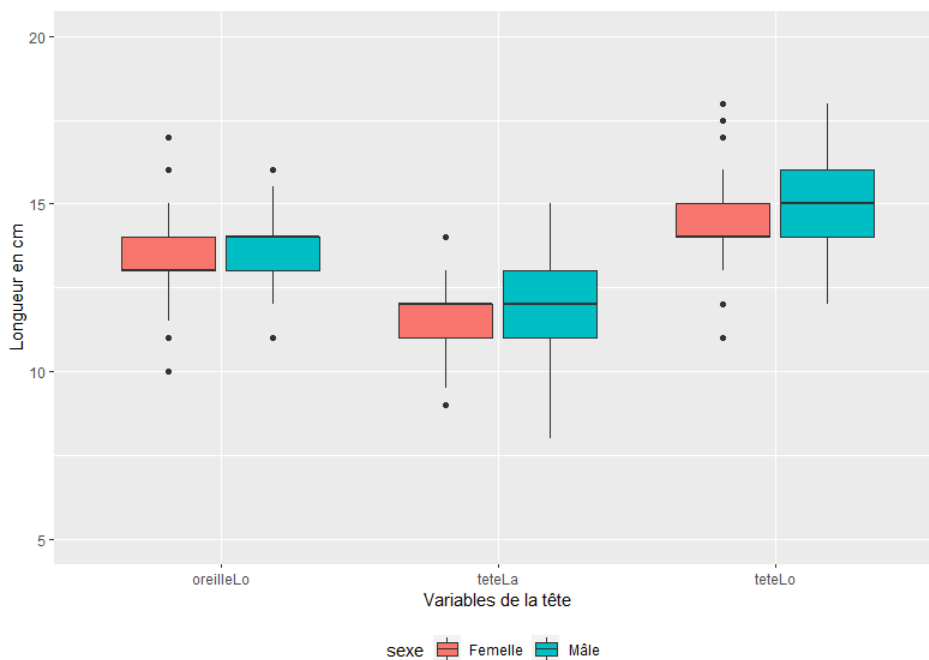


Figure 14: Mesures biométriques de la tête chez les mâles et les femelles caprins mahorais

La Figure 14 montre que les variables biométriques de la tête sont globalement similaires entre les mâles et les femelles (14,87 et 14,35 respectivement pour la longueur de la tête, 11,96 et 11,50 respectivement pour la largeur de la tête et 13,43 contre 13,27 respectivement pour la longueur de l'oreille).

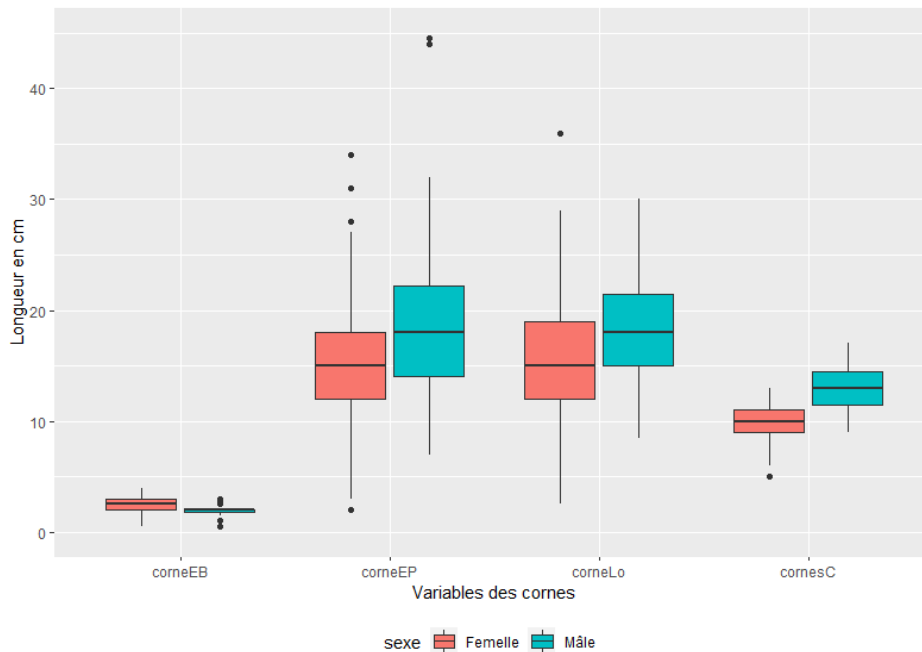


Figure 15: Mesures biométriques des cornes chez les mâles et les femelles caprins mahorais

La Figure 15 indique que les mâles ont des cornes légèrement plus longues (18,43 cm) et un écart entre les pointes plus élevé (19,72 cm) que les femelles (15,63 cm et 15,47 cm respectivement). De même, la circonférence de la corne des mâles est plus importante (12,83 cm) que celle des femelles (9,65 cm). À contrario, l'écart entre la base des cornes est légèrement plus grand chez les femelles (2,52 cm) que chez les mâles (1,99 cm).

Poids des animaux

D'après Janelle et al. (2013), le poids moyen des caprins mahorais à 1 mois est 4,8kg. A 3 mois, les femelles font 6,9 kg contre 7,6 kg pour les mâles (Figure 16). De même, à 1 an, le poids moyen des mâles est plus élevé (18,6 kg) que celui des femelles (15,5 kg).

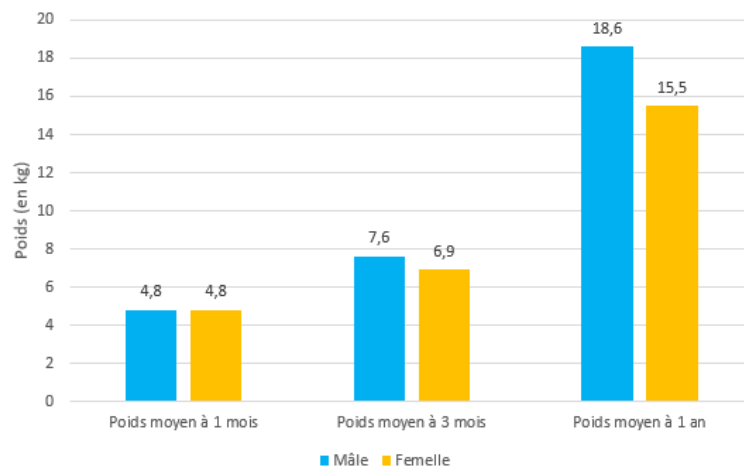


Figure 16: Poids moyen des caprins mahorais à différents âges types différenciés en fonction du sexe

À l'âge adulte, les femelles pèsent en moyenne 35,74 ($\pm 5,82$) kg, leur poids variant de 27 à 46 kg avec un coefficient de variation de 16,30%.

Corrélations

Des corrélations entre plusieurs variables biométriques ont été effectuées (Figure 17).

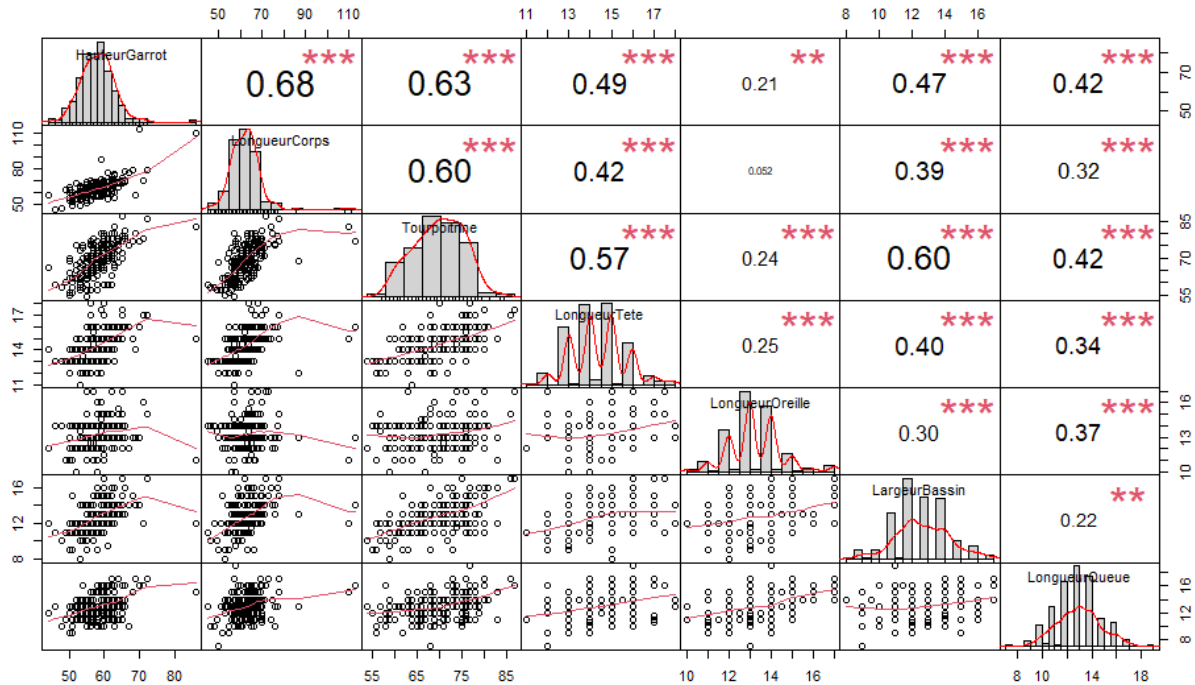


Figure 17: Corrélations entre 7 variables biométriques avec le nuage de point (partie inférieure gauche), l'histogramme de chaque variable (sur la ligne diagonale) et la valeur de corrélation avec sa significativité (partie supérieure droite)

La hauteur au garrot et la longueur du corps ont une corrélation positive significative de 0,68. Il en est de même pour la corrélation entre la hauteur au garrot et le tour de poitrine qui est de 0,63 et la corrélation entre la longueur du corps et le tour de poitrine qui est de 0,60. La largeur du bassin est corrélée positivement et significativement à 0,60 avec le tour de poitrine. La plus faible corrélation significative est celle entre la hauteur au garrot et la longueur des oreilles qui est de 0,21 (Figure 17).

3. Résultats des données qualitatives

Coloration de la robe

Il existe 9 patrons de robe chez l'ensemble des races de chèvres dans le monde. Six de ces patrons sont présents chez la chèvre mahoraise (Figure 18) : phaeomélanique (27% des individus), sauvage (18%), eumélanique (16,5%), mantelé antérieur (6%), chamoisé (3%) et eumélanique et feu ventre clair (0,5%).

29% des caprins mahorais ont un patron dit « invisible » du fait d'une décoloration importante de leur robe qui rend impossible la détermination du patron.

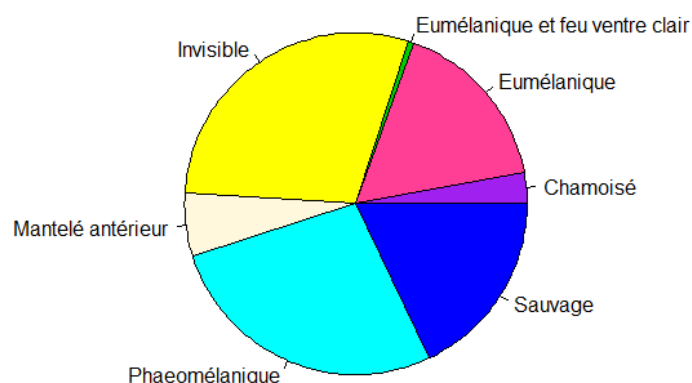


Figure 18: Représentation de la proportion de chaque patron présent dans la population de chèvres mahoraises.

Les patrons de robe sont associés à un motif de robe qui peut être uni, pie ou moucheté (tableau 3). Dans la population caprine mahoraise, 56,5% des animaux sont unis, 33,5% sont pies et 10% sont mouchetés.

Tableau 10 : Proportion et fréquence pour chaque motif présent sur chaque patron

Patron	Motif	Proportion	Fréquence
Eumélanique	Uni	16/200	8%
	Pie	13/200	6,5%
	Moucheté	4/200	2%
Eumélanique et feu ventre clair	Uni	1/200	0,5%
	Pie	0/200	0%
	Moucheté	0/200	0%
Chamoisé	Uni	4/200	2%
	Pie	0/200	0%
	Moucheté	2/200	1%
Sauvage	Uni	23/200	11,5%
	Pie	7/200	3,5%
	Moucheté	6/200	3%
Mantelé antérieur	Uni	9/200	4,5%
	Pie	3/200	1,5%
	Moucheté	0/200	0%
Phaeomélanique	Uni	35/200	17,5%
	Pie	17/200	8,5%
	Moucheté	2/200	1%
Invisible	Uni	25/200	12,5%
	Pie	27/200	13,5%
	Moucheté	6/200	3%

Les caprins pies et mouchetés peuvent être classés en différentes catégories en fonction du pourcentage de taches blanches présent sur leur robe. Ainsi, parmi les animaux pies, très peu ont plus des $\frac{3}{4}$ de leur robe pie (Tableau 11). En revanche, la majorité des animaux mouchetés ont plus de $\frac{3}{4}$ de leur corps recouvert de mouchetures (Tableau 11).

Tableau 11: Proportion et fréquence pour chaque quantité de pie ou de moucheture présente sur chaque motif

Motif	Quantité de pie ou moucheture	Proportion	Fréquence
Pie	Moins de $\frac{1}{4}$	21/200	10,5%
	Entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$	22/200	11%
	Entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$	17/200	8,5%
	Plus de $\frac{3}{4}$	7/200	3,5%
Moucheté	Moins de $\frac{1}{4}$	6/200	3%
	Entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$	2/200	1%
	Entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$	1/200	0,5%
	Plus de $\frac{3}{4}$	11/200	5,5%

Selon les patrons et les motifs de robe, les caprins mahorais peuvent présenter une à plusieurs couleurs. Seule la couleur principale de chaque animal, c'est-à-dire la couleur majoritaire de son pelage, a été analysée pour obtenir les pourcentages de couleurs principales. Au total, 5 couleurs principales sont présentes dans la population : noire (18% des individus), rouge foncé (15,5% des caprins), rouge clair (24,5%), fauve (13%) et rouan (5,5%). 23,5% des caprins mahorais ont pour couleur principale le blanc, signe d'une décoloration importante de leur robe.

La coloration de la tête varie selon le type de marque en tête de l'animal. Ainsi, 50% des individus n'ont pas de marque blanche sur la tête, 42,5% ont une tâche blanche sur la tête et 7,5% ont un frosting.

Coloration de la peau et des muqueuses

La pigmentation de la peau peut varier selon les patrons des chèvres (Tableau 12). Au total, 71% des caprins mahorais ont la peau pigmentée et seulement 29% ont une peau non pigmentée.

Tableau 12 : Proportion et fréquence pour chaque pigmentation de peau présente pour chaque patron de robe

Patron	Pigmentation	Proportion	Fréquence
Eumélanique	Pigmentée	32/200	16%
	Non pigmentée	1/200	0,5%
Eumélanique et feu ventre clair	Pigmentée	1/200	0,5%
	Non pigmentée	0/200	0%
Chamoisé	Pigmentée	4/200	2%
	Non pigmentée	2/200	1%
Sauvage	Pigmentée	31/200	15,5%
	Non pigmentée	5/200	2,5%
Mantelé antérieur	Pigmentée	12/200	6%
	Non pigmentée	0/200	0%
Phaeomélanique	Pigmentée	29/200	14,5%
	Non pigmentée	25/200	12,5%
Invisible	Pigmentée	33/200	16,5%
	Non pigmentée	25/200	12,5%

La grande majorité des caprins ayant un patron eumélanique ont la peau pigmentée, il en est de même pour le patron sauvage (Tableau 12).

Texture et longueur du pelage

La texture du pelage est différenciée selon 4 catégories : brillants (1%), brillant et doux (89%), mat (0,5%), mat et doux (9,5%). De même, la longueur des poils est divisée en 4 catégories : court sur tout le corps (76% des caprins), court sur le corps et long sur le cou (2,5%), long uniquement sur le dos et les pattes (20%) et long sur tout le corps (1,5%). La majorité des animaux ont des poils courts sur tout le corps avec la texture brillant et doux (67% des caprins locaux, Tableau 13).

Tableau 13 : Proportion et fréquence de chaque texture de poils présente pour chaque longueur de poils

Longueur du poils	Texture du poils	Proportion	Fréquence
Court sur tout le corps	Brillant	2/200	1%
	Brillant et doux	134/200	67%
	Mat	1/200	0,5%
	Mat et doux	15/200	7,5%
Long sur le cou	Brillant	0/200	0%
	Brillant et doux	5/200	2,5%
	Mat	0/200	0%
	Mat et doux	0/200	0%
Long sur le dos et les pattes	Brillant	0/200	0%
	Brillant et doux	37/200	18,5%
	Mat	0/200	0%
	Mat et doux	3/200	1,5%
Long sur tout le corps	Brillant	0/200	0%
	Brillant et doux	2/200	1%
	Mat	0/200	0%
	Mat et doux	1/200	0,5%

Tête

Le profil de la tête se distingue en 2 formes : concave (91% des individus) et droit (9% des animaux) (Figure 19). Aucun animal n'a de profil de tête convexe ni ultra-convexe.

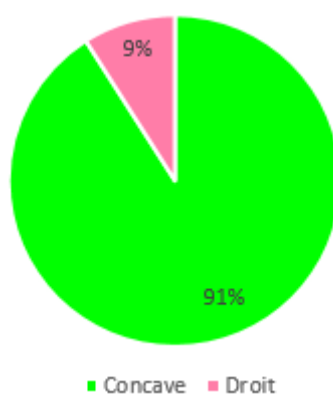


Figure 19 : Pourcentage des différents profils de tête

Concernant les pampilles, seuls 1,5% des caprins mahorais en possède. Dans la population mahoraise, 25% des individus ont une barbe. La majorité des mâles présente une barbe (74%) contre 15% des femelles. Il en est de même pour les collerettes : seuls 8,5% de la population en possède une. Elle est plus présente chez les mâles (46%) que chez les femelles (0,01%). Globalement, 74% des individus

n'ont ni barbe ni collerette et 7,5% ont les deux. 17,5% ont une barbe mais pas de collerette et inversement, seulement 1% ont une collerette sans barbe.

Concernant les oreilles, la totalité des caprins mahorais ont les oreilles dressées et horizontales. La largeur des oreilles est moyenne pour 99,5% de la population et fine pour seulement 0,5%.

Cornage

La chèvre mahoraise est une race où la présence de corne est quasi-systématique. En effet, 99,5% des individus en possède. Elles sont généralement symétriques (93,5% des animaux) et peuvent avoir différentes couleurs : blanc (11,5%), brun (80%), noir (2,5%) ou plusieurs couleurs (6%) (Figure 20).

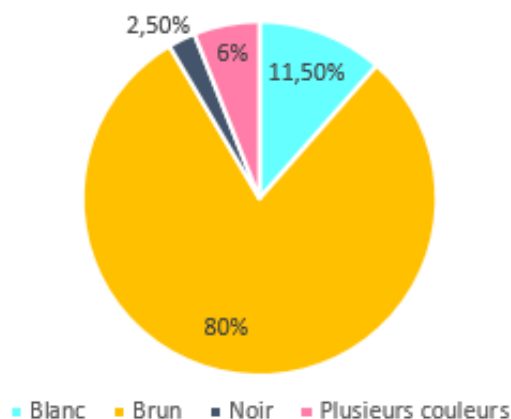


Figure 20 : Pourcentage des différentes couleurs de cornes présentes dans la population

Les cornes sont classées selon leur forme et leur orientation. Pour leur forme, les cornes sont associées à l'une des 4 classes suivantes : courbes (21,5% des caprins), droites (4,5%), en spirale (69,5%) ou partielles (4,5%). Il existe également 4 classes pour l'orientation des cornes : en arrière (91,5% des animaux), latérales (0,5% des individus), obliques vers le haut (6%) ou moignons (2%). La combinaison des formes et des orientations des cornes des caprins mahorais est présentée Tableau 14.

Tableau 14 : Proportion et fréquence de chaque orientation de cornes présente pour chaque forme de cornes

Forme des cornes	Orientation des cornes	Proportion	Fréquence
Courbe	En arrière	41	20,5%
	Latérale	0	0%
	Oblique vers le haut	2	1%
	Moignons	0	0%
Droite	En arrière	8	4%
	Latérale	0	0%
	Oblique vers le haut	1	0,5%
	Moignons	0	0%
En spirale	En arrière	129	65%
	Latérale	0	0%
	Oblique vers le haut	9	4,5%
	Moignons	0	0%
Partielle	En arrière	4	2%
	Latérale	1	0,5%
	Oblique vers le haut	0	0
	Moignons	4	2%

La majorité des caprins mahorais ont des cornes en spirale orientées en arrière (65%). Près d'1/5 des animaux ont des cornes courbes orientées en arrière.

Caractères sexuelles femelles : trayons et mamelles

La forme de la mamelle des chèvres mahoraises peut être classée en 3 catégories : bien formée (88,5% des femelles), mal formée (10,3%) ou pas de mamelle (1,2%). Chaque forme de mamelle est associée à un développement : bien développée pour 30,7% des femelles et peu développée pour 69,3%. La combinaison du développement et de la forme de la mamelle des chèvres mahoraises est présentée Tableau 15.

Globalement, la majorité des chèvres mahoraises ont une mamelle bien formée mais peu développée (61,2%). Peu d'individus femelles n'ont pas de mamelles (1,2%), cela est lié à leur jeune âge.

Tableau 15 : Proportion et fréquence de chaque développement de mamelle présent pour chaque forme de mamelle

Forme de la mamelle	Développement de la mamelle	Proportion	Fréquence
Bien formée	Bien développée	45/165	27,3%
	Peu développée	101/165	61,2%
Mal formée	Bien développée	5/165	3%
	Peu développée	12/165	7,3%
Pas de mamelle		2/165	1,2%

Les trayons des chèvres mahoraises peuvent avoir plusieurs positions sur la mamelle. 7 types de positions ont été définies pour classer les trayons des animaux (Figure 21). La majorité des femelles ont des trayons positionnés vers l'avant (47,9%) ou centrés (47,3%) (Figure 21).

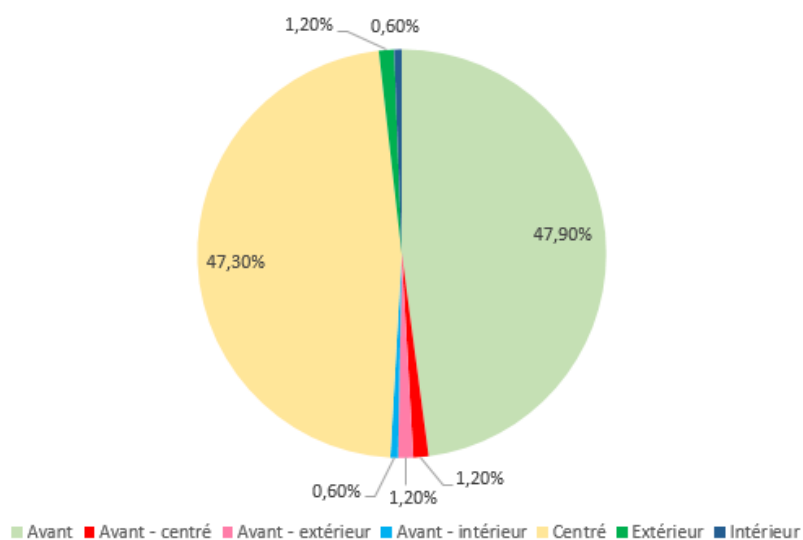


Figure 21 : Pourcentage de chèvre mahoraise dans chacune des 7 classes d'orientations des trayons

4. Interprétation et discussion

Les données récoltées sont celles préconisées dans le guide de la FAO (FAO 2013) pour avoir une caractérisation homogène des différentes races caprines dans le monde. Plusieurs études de caractérisation caprine ont utilisées des indicateurs semblables à ceux que nous avons utilisé dans cette étude (Mani et al. 2014).

L'échantillon utilisé comporte essentiellement des femelles (82,5%), ce qui est représentatif de la population caprine mahoraise. Les mâles sont beaucoup moins nombreux et généralement jeunes. Cela vient du fait que les éleveurs exploitent précocement les mâles et gardent plus longtemps les femelles pour le renouvellement du troupeau. Cela est également le cas dans d'autres pays d'Afrique, tel que l'indique le protocole de sélection des animaux utilisé pour la caractérisation de la chèvre du Sahel au Niger, à savoir 443 caprins donc 77% de femelles (Mani et al. 2014).

D'un point de vue générale, le caprin mahorais est un individu de gabarit moyen qui présente un phénotype varié en termes de coloris de la robe, de forme des cornes et de longueur de poils (Tableau 10, Tableau 13 et Tableau 14). La présence de nombreux patrons et de nombreuses couleurs de robe chez la chèvre mahoraise indique que la race n'a pas été sélectionnée pour sa couleur.

La majorité des données biométriques du corps et de la tête sont égales ou plus élevées chez les femelles que chez les mâles (Figure 13), ce qui s'explique par le fait que dans l'échantillon, les mâles étaient plus jeunes que les femelles (Tableau 6). Cela a également été le cas dans l'étude de Djagba et al. (2019) sur la variabilité des caractères morphologiques mesurables de la chèvre Djallonké dans les zones agro-écologiques du Togo. Les valeurs des mesures biométriques du corps augmentent avec l'âge des animaux (Figure 13), ce qui signifie que leur croissance n'est pas terminée avant 4 ans, âge où les animaux obtiennent 4 paires d'incisives. Djagba et al. (2019) et Mani et al. (2014) mettent également en évidence un effet de l'âge sur les variables biométriques des chèvres du Togo et du Sahel, respectivement.

Contrairement aux chèvres Djallonké du Togo qui sont des chèvres naines ($41,56 \pm 3,66$ cm au garrot) (Djagba et al. 2019), la chèvre de Mayotte est plus grande $58,15 \pm 5,01$ cm (Tableau 9), faisant en moyenne une taille similaire à la chèvre Mubende en Ouganda ($56,42$ cm au garrot) (Semakula et al. 2010) et à la chèvre du Sahel au Niger ($58,79 \pm 10,56$ cm au garrot pour les femelles et $63,16 \pm 8,21$ cm pour les mâles) (Mani et al. 2014). Phénotypiquement, les races Fohivolo et Aosy de Madagascar ont des valeurs biométriques un peu plus élevées que les caprins mahorais : les hauteurs au garrot sont de $64,77 \pm 4,4$ cm et $64,1 \pm 4,5$ cm respectivement, les longueurs du corps sont de $67 \pm 4,8$ cm pour Fohivolo et $69,6 \pm 8,1$ cm pour Aosy et le tour de poitrine est de $81,5 \pm 11,1$ cm pour Fohivolo et $78 \pm 8,5$ cm pour Aosy (Miora 2016). La chèvre mahoraise a une longueur du corps de $63,01 \pm 7,80$ cm et un tour de poitrine de $69,54 \pm 6,78$ cm en moyenne. Malgré sa hauteur au garrot similaire, la chèvre Mubende a une longueur du corps ($45,59$ cm) et un tour de poitrine ($62,68$ cm) plus faible que la chèvre mahoraise (Semakula et al. 2010). La chèvre du Niger, quant à elle, a un tour de poitrine ($65,82 \pm 11,09$ cm) et une longueur du corps ($60,42 \pm 13,42$ cm) légèrement plus faible que la chèvre mahoraise mais du même ordre (Mani et al. 2014). En comparaison, la longueur des oreilles est plus élevée chez la chèvre du Sahel au Niger ($17,2 \pm 4,63$ cm) que chez la chèvre mahoraise ($13,30 \pm 1,24$ cm, Tableau 9) (Mani et al. 2014).

Concernant les corrélations, Mani et al. (2014) trouvent une corrélation positive de 0,72 entre la hauteur au garrot et le tour de poitrine, contre 0,5 pour Djagba et al. (2019) et 0,63 pour les chèvres mahoraises. La corrélation entre la hauteur au garrot et la longueur du corps chez les chèvres mahoraises est de 0,68 (Figure 17), ce qui correspond à la corrélation de 0,62 évoquée chez la chèvre du Sahel au Niger (Mani et al. 2014). Mani et al. (2014) décrivent une corrélation positive de 0,52 entre la longueur des oreilles et la hauteur au garrot, alors que celle retrouvée chez la chèvre mahoraise est significativement de 0,21. Cette faible corrélation chez le caprin de Mayotte peut être dû au fait que la taille de l'oreille évolue peu en fonction de l'âge.

V. Caractéristiques génétiques

1. Matériels et méthodes

Le but de cette étape est de déterminer l'homogénéité génétique de la population de caprins mahorais ainsi que son origine et son niveau de consanguinité.

a. Prélèvements sanguins

Un prélèvement sanguin a été effectué sur chacun des 200 caprins phénotypés. Sur chaque animal, un tube EDTA de 10 ml et un autre de 6 ml ont été remplis. Le prélèvement de sang a été réalisé à la veine jugulaire, les animaux étant contenus au niveau des cornes et du thorax pour immobiliser la tête et le cou. Les tubes prélevés ont été identifiés avec le numéro de l'animal définit pour l'étude puis stockés dans une glacière à 4°C (avec pains de glaces) avant d'être mis au réfrigérateur dans le laboratoire d'analyses.

b. Extraction d'ADN et préparation des échantillons

L'ADN des 200 animaux phénotypés a été extrait 1 à 3 jours après la prise de sang et la mise au réfrigérateur des échantillons. L'extraction de l'ADN a été réalisée par des agents compétents à l'aide du Wizard Genomic DNA Purification Kit. Le protocole d'extraction de l'ADN est disponible en Annexe 3. Parmi les 2 tubes prélevés (10mL et 6mL), 5mL de sang ont été utilisés pour l'extraction de l'ADN et le reste a été congelé à -80°C pour conservation et utilisation ultérieure. Les échantillons d'ADN extraits ont été congelés à -20°C. Seuls 198 échantillons d'ADN ont pu être extraits, 2 animaux n'avaient pas une quantité suffisante de sang dans les tubes pour pratiquer l'extraction.

Une fois tous les échantillons d'ADN extraits, une étape de détermination de la concentration et de la pureté de l'ADN de chaque échantillon a été effectuée par spectrométrie à l'aide d'un appareil BioSpec-Nano (Shimadzu). Les ratios 260/280 et 260/230 ont été regardés pour déterminer la pureté de l'ADN. Les échantillons ayant des ratios indiquant une mauvaise pureté de l'ADN ou une concentration non suffisante n'auraient pas été conservés pour la suite, mais tous les échantillons étaient corrects. Pour l'envoi à l'entreprise de génotypage, les échantillons ont subi une étape de dilution avec la formule suivante :

$$V_i C_i = V_f C_f$$

Avec V_i = volume initial à prélever, C_i = concentration initiale d'ADN déterminée à l'aide du BioSpec-Nano, V_f = volume final demandé pour le génotypage (à savoir 30 μ L), C_f = concentration finale demandée pour le génotypage (à savoir 50 ng/ μ L)

c. Choix des individus à génotyper

Le choix des ADN à génotyper a été effectué en fonction des critères suivants :

- Quantité et qualité de l'ADN
- Non apparentement des individus déterminé selon les dires d'éleveurs
- Localisation des élevages afin de respecter la répartition géographique
- Sexe afin de respecter le sexe-ratio de la population
- Critères phénotypiques représentatifs de la population

Les ADN de 96 individus ont été sélectionnés pour le génotypage. La description du nombre d'animaux sélectionnés par commune est indiquée Tableau 16.

Tableau 16: Répartition du nombre de caprins à géotyper et géotypés par communes

Commune	Nombre de caprins à géotyper (arrondis)	Dont femelles	Dont mâles	Nombre de caprins géotypés (arrondis)	Dont femelles	Dont mâles
ACOUA	3	3	0	4	4	0
BANDRABOUA	7	5	2	10	7	3
BANDRÉLÉ	13	10	3	9	7	2
BOUÉNI	0	0	0	0	0	0
CHICONI	9	7	2	11	8	3
CHIRONGUI	15	12	2	13	10	3
DEMBÉNI	11	9	2	11	9	2
DZAOUDZI	0	0	0	0	0	0
KANI KÉLI	3	2	1	3	2	1
KOUNGOU	10	9	0	4	3	1
MTSANGAMOUJI	3	2	1	4	2	2
MAMOUDZOU	5	4	0	5	5	0
MTSAMBORO	3	3	0	5	5	0
OUANGANI	5	4	2	5	3	2
PAMANDZI	0	0	0	0	0	0
SADA	4	3	1	5	4	1
TSINGONI	5	4	1	7	6	1
Total	96	78	18	96	75	21

La liste des animaux géotypés se trouve Annexe 4.

d. Géotypage

Le géotypage a été effectué sur 96 individus par le laboratoire Labogena (Jouy-en-Josas). L'ADN a été géotypé avec la méthode Illumina sur puce caprine SNP 60K qui permet de géotyper environ 60 000 SNP (Single Nucléotide Polymorphism). Les résultats bruts ont été fournis par le laboratoire sous forme de 2 fichiers (format CSV) :

- Fichier comprenant les typages (TYP). Ce fichier est une table contenant les colonnes suivantes : numéro de l'échantillon, le nom du marqueur, allèle 1, allèle 2. Tous les marqueurs sont analysés pour tous les individus, ce qui représente un nombre de ligne dans le fichier égale à 96 échantillons x 59727 SNP.
- Fichier sur la qualité des échantillons (COM). Ce fichier comprend une ligne par échantillon avec une colonne comprenant le numéro de l'échantillon et l'autre le « Call Rate », à savoir le pourcentage de marqueur pour lesquels un échantillon a une valeur.

e. Analyse des données

Un jeu de données a été constitué à partir des données disponibles dans le papier de Colli et al. (2018). Parmi les 169 populations (4653 animaux) présentes chez Colli et al (2018), 55 ont été sélectionnées et combinées avec les données issues de la population de caprins mahorais pour former le jeu de

donnée utilisé pour les analyses. Ainsi, le jeu de donnée complet utilisé dans l'étude (Annexe 5) comprend 56 races, 2184 individus génotypés pour 39583 SNPs.

Analyses exploratoires

À partir du jeu de données complet, les individus de race Boer et Small East African ont été retirés car ils étaient trop dispersés pour les analyses effectuées. Ainsi, le jeu de données filtré comprend 54 races, 1797 individus génotypés pour 39583 SNPs. Une ACP (Analyse en Composante Principale) a été effectuée avec le logiciel R à partir du jeu de données filtré dans le but de réduire la variabilité des 39583 marqueurs à deux dimensions.

Calcul de paramètres de diversité génétique

À partir du jeu de données complet (56 races, 2184 individus génotypés pour 39583 SNPs), les indices de fixation (F_{is} , différenciation des individus à l'intérieur de la population) et de différenciation (F_{st} , différenciation entre les populations) ont été calculés avec le logiciel R. Un arbre de Neighbor Joining (NJ) a ensuite été constitué à partir des F_{st} calculées. Un second arbre Neighbor Joining (NJ) basé sur l'allèle Sharing Distance des individus a été créé.

2. Résultats

a. Analyses exploratoires

Le premier plan factoriel de l'ACP (Figure 22) différencie les populations caprines en fonction de leur origine géographique. Ainsi, l'axe 1 semble classer vers la droite les populations européennes et vers la gauche les populations africaines, alors que l'axe 2 regroupe vers le haut les populations asiatiques. La figure 22 montre que les caprins mahorais se situent avec un ensemble de populations africaines et très éloignés des races européennes et asiatiques. La population de Mayotte est proche des populations de Madagascar, d'Afrique du Sud et d'Afrique de l'Est (Figure 22).

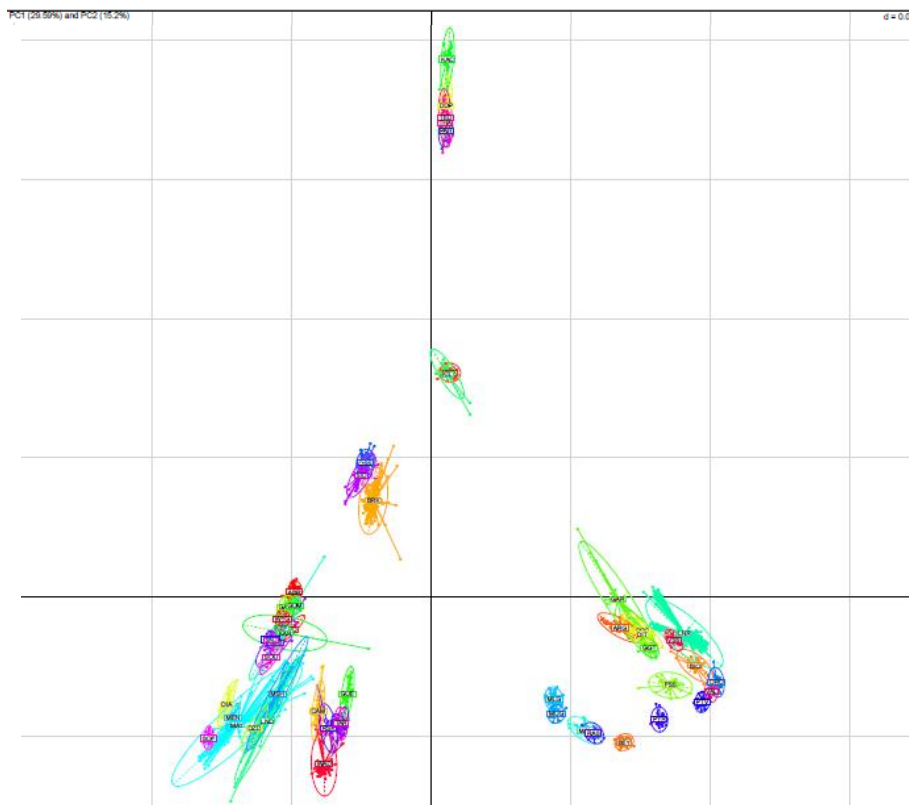


Figure 22 : Premier plan factoriel de l'ACP prenant en compte 39583 SNPs et 54 populations caprines

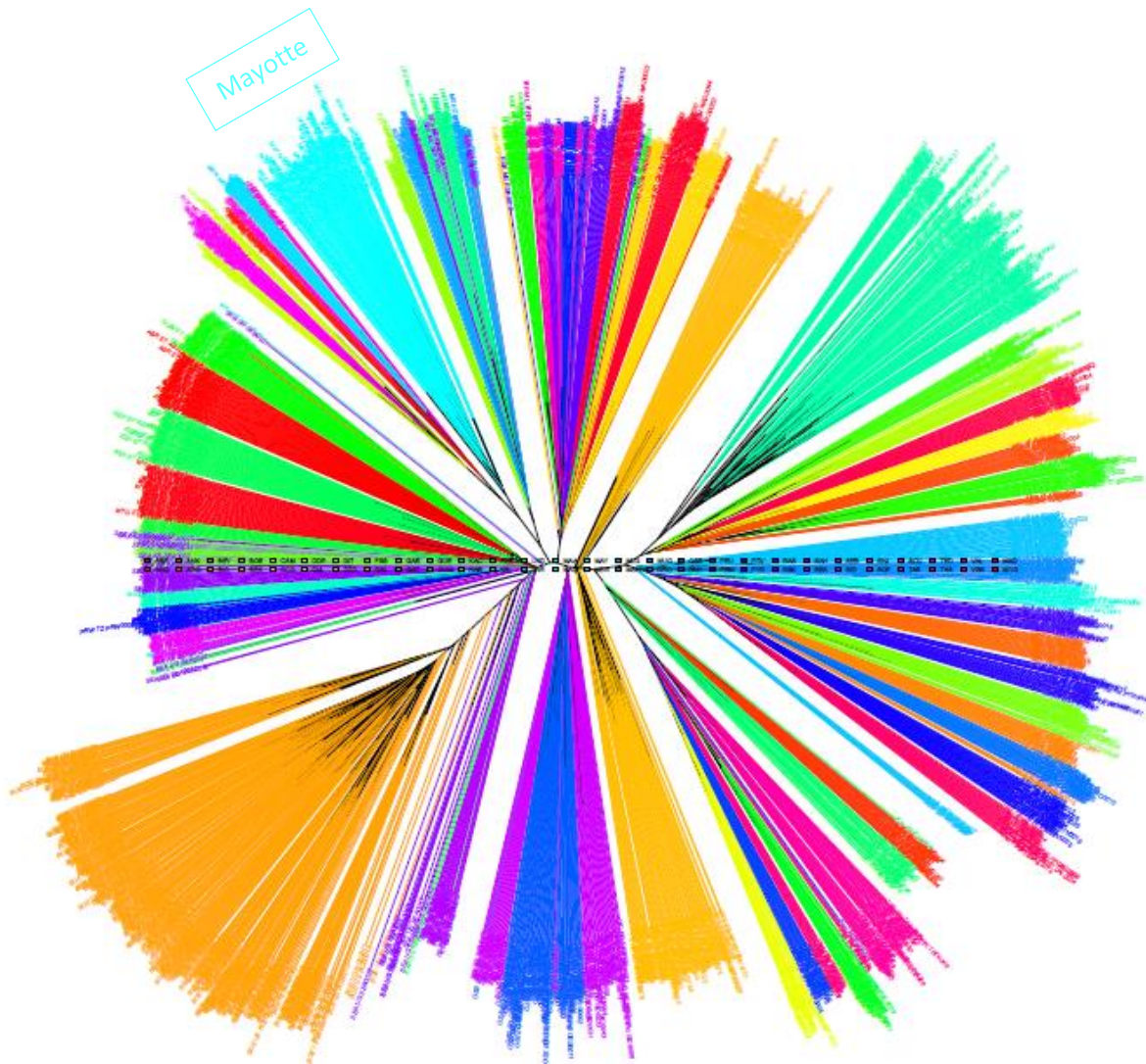


Figure 24: Arbre NJ basé sur l'allèle Sharing Distance des individus. La population de caprins mahorais est indiquée en bleu clair

VI. Exploration des potentialités d'adaptation

1. Contexte du travail exploratoire sur les potentialités d'adaptation

Les résultats développés précédemment ont montré que la chèvre mahoraise forme une race distincte et spécifique. Génétiquement, aucune recherche n'a été faite pour détecter des gènes de résistances spécifiques ou d'adaptation. Les animaux locaux sont connus pour être résistants aux conditions de leur milieu : climat chaud et humide, forte pression parasitaire, fourrage grossier et présent qu'à certains moments de l'année. Toutefois, aucune étude n'a encore été menée pour vérifier ces dires. Quelques éléments du contexte d'adaptation des caprins à leur environnement ont été étudiés dans cette étude, sous forme d'un questionnaire aux éleveurs et de prélèvement sur les animaux.

2. Matériels et méthodes

Données recueillies sur le terrain

Un questionnaire avec 5 variables et 19 modalités a été soumis aux 67 éleveurs caprins ayant participé à la première phase de l'étude (Tableau 17).

Tableau 17: Questionnaires avec les variables d'adaptations et les modalités proposées aux éleveurs

Variables	Modalités
Critères d'adaptation	Tolérance à la chaleur
	Tolérance à la sécheresse
	Tolérance aux maladies et aux parasites
Environnement d'élevage	Herbe
	Béton
	Terre
	Bois
Causes des visites du vétérinaire	Pas de visite
	Intervention si problème ou maladie grave
	Vaccins

De plus, pour chaque animal phénotypé, la date depuis laquelle il a été vermifugé et /ou déparasité a été noté sous forme de 4 catégories (Tableau 18) :

Tableau 18: Questionnaires avec les pratiques de traitements des animaux et les modalités proposées aux éleveurs

Variables	Modalités
Déparasitage	Mois de 3 mois
	Entre 3 mois et 1 an
	Plus de 1 an
	Jamais
Vermifuge	Mois de 3 mois
	Entre 3 mois et 1 an
	Plus de 1 an
	Jamais

Les infestations par des parasites externes (tiques) ont été appréciées visuellement chez tous les individus phénotypés.

Le niveau d'infestation par des parasites internes (strongles digestifs, coccidies, ténia, douve) a été évalué par des analyses coprologiques sur les 200 caprins composant l'échantillon pour la détermination des caractéristiques phénotypiques. Chacun des 200 individus a subi une récolte de fèces, mais seuls 166 d'entre eux avaient assez de matière pour être analysés.

Analyses coprologiques

La présence de certains parasites internes a été évaluée avec la méthode de Mac Master (Annexe 6). Cette méthode quantitative est basée sur le principe de flottation. La matière fécale est diluée au 1/15 et les éléments parasitaires contenus dans 0,30 ml d'une suspension de cette solution sont comptés à l'aide d'une lame de Mac Master.

3. Résultats

a. Tolérance au climat et aux maladies

Les chèvres mahoraises supportent bien le climat de l'île. 95,2% des éleveurs estiment que leurs caprins supportent bien la chaleur et 77,8% disent que le troupeau tolère bien la sécheresse.

De plus, selon les éleveurs, 68,3% des troupeaux caprins seraient tolérants aux maladies et aux parasites.

Concernant les visites vétérinaires, plus de la moitié des éleveurs ne font pas venir le vétérinaire (52,24%), 23,39% ne le font venir que pour faire les vaccins annuels et ¼ des éleveurs font venir le vétérinaire seulement si leurs animaux sont malades (Figure 25).

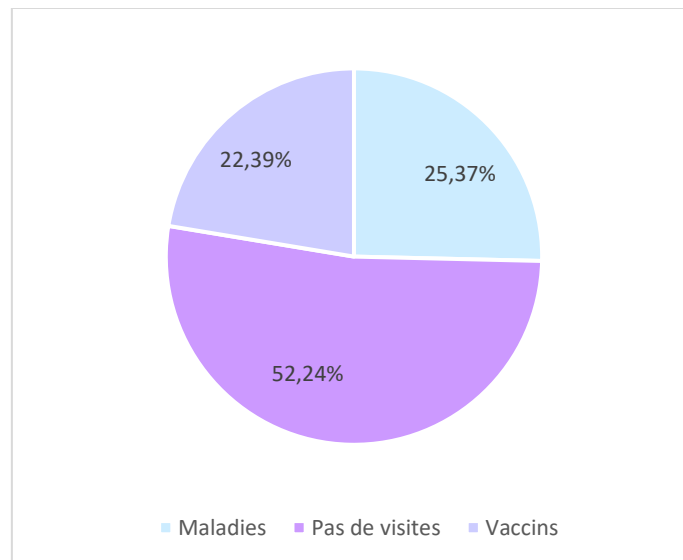


Figure 25 : Pourcentage d'éleveurs répartis selon leurs pratiques de visites vétérinaires

b. Parasitisme externe

Concernant les tiques, 99% des caprins phénotypés n'en n'ont pas, 0,5% en ont faiblement et 0,5% en ont moyennement.

Les traitements antiparasitaires ne sont pas systématiques : 35,5% des individus observés n'ont jamais reçu de traitement, 14,5% ont reçu un traitement depuis plus d'un an, 26,5% ont reçu un traitement depuis moins d'un an et 23,5% ont été déparasités moins de 3 mois avant les visites (Figure 26).

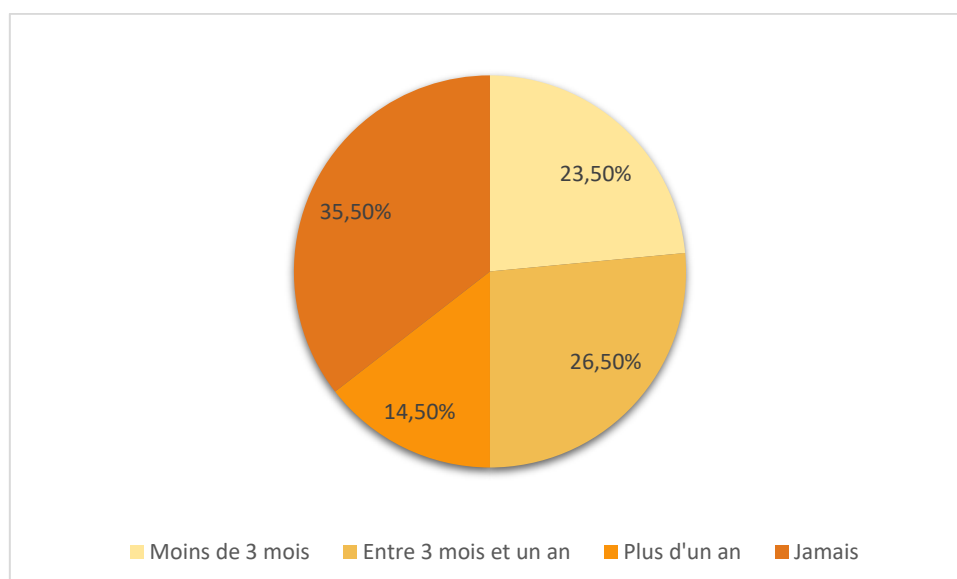


Figure 26: Pourcentage de caprins mahorais répartis selon les pratiques de déparasitage

Parmi les caprins mahorais, 35% n'ont jamais été déparasités chimiquement et n'ont pas de tiques, et 0,5 n'ont jamais été déparasités et ont une présence moyenne de tiques. 23% des animaux ont été déparasités moins de 3 mois avant les visites et n'avaient pas de tiques, et 0,5% en avaient faiblement. 26,5% des caprins ont été déparasités entre 3 mois et 1 an avant les visites et n'avaient pas de tiques. 14,5% des animaux ont été déparasités il y a plus d'un an et n'avaient pas de tiques.

Les caprins mahorais sont donc peu sensibles aux tiques.

c. Parasitisme interne

Plusieurs parasites ont été regardés : strongles digestifs, coccidies, douve et ténia. Certains ont été quantifiés (Tableau 19 et 20).

Tableau 19 : Pourcentage de caprins mahorais ayant des strongles digestifs, des coccidies ou du ténia en fonction de 5 classes de quantité

	Absence	Rares œufs	Présence +	Présence ++	Présence +++	Total
Strongles digestifs	75,30%	5,42%	7,23%	9,64%	2,41%	100%
Coccidies	85,55%	6,02%	4,82%	3,01%	0,60%	100%
Ténia	93,37%	1,21%	2,41%	3,01%	0,00%	100%

Tableau 20 : Pourcentage de caprins mahorais porteur de la douve

	Absence	Présence	Total
Douve	89,16%	10,84%	100%

Au total, 52,41% des caprins mahorais ne sont atteints par aucun parasite interne digestif. 31,32% sont porteurs d'un seul type de parasite digestif, 15,07% des animaux sont atteints par 2 espèces de parasites internes digestifs différents et seulement 1,20% des caprins locaux sont atteints par 3 espèces de parasites internes digestifs différents (Tableau 21).

Tableau 21 : Pourcentage de caprins mahorais ayant de 0 à 3 espèces de parasites internes digestifs en fonction de 4 dates de vermifuge

	Moins de 3 mois	Entre 3 mois et 1 an	Plus d'1 an	Jamais	Total
Aucun parasites	13,86%	13,25%	4,82%	20,48%	52,41%
1 espèce	7,83%	6,63%	3,61%	13,25%	31,32%
2 espèces	1,81%	4,82%	4,22%	4,22%	15,07%
3 espèces	0%	0,60%	0,60%	0%	1,20%

Le vermifuge des chèvres n'est pas systématique, près de 38% du cheptel caprin étudié n'a jamais été vermifugé (Figure 27).

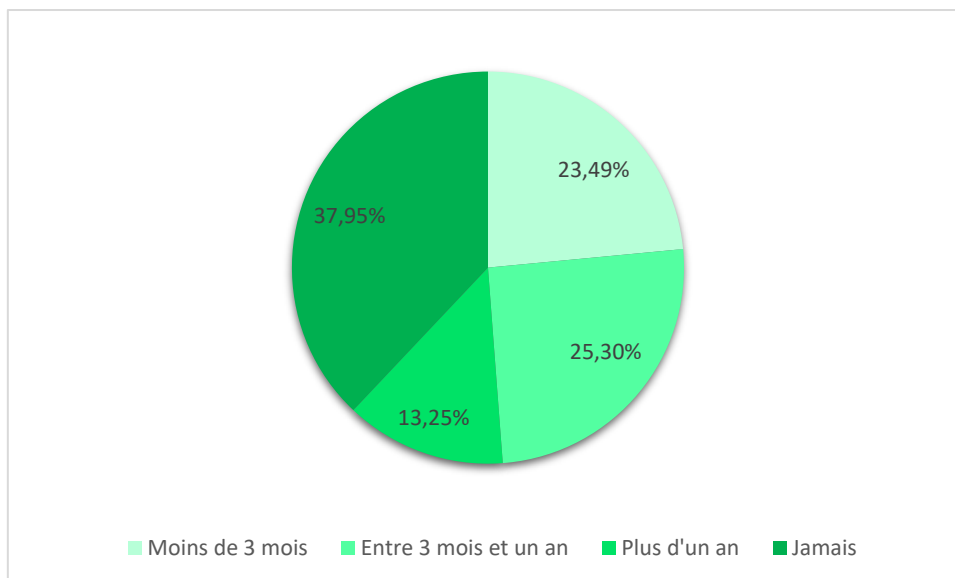


Figure 27 : Pourcentage de caprins mahorais répartis selon les pratiques de vermifuge

Faute d'avoir effectué des relevés sur des caprins croisés ou des races pures exotiques, il n'est pas possible de vérifier l'hypothèse selon laquelle les caprins mahorais seraient plus résistants aux parasites internes que les autres types raciaux. De plus, ces analyses auraient dû être couplées avec des signes physiques d'infestations (amaigrissement, gonflement de la panse, diarrhée) et des analyses de réponse immunitaire.

VII. Difficultés rencontrées et limites

L'échantillon de départ (67 éleveurs) n'a pas été aussi étendu que prévu car les communes de Petite Terre (Pamandzi et Dzaouzi) étaient confinées au moment de la première phase. La phase terrain pour le phénotypage des 200 animaux a pris plus de temps qu'espéré car le confinement de l'île a retardé de deux semaines le début de la phase de travail. Globalement, la phase de collecte de données a pris un peu plus de temps que prévu mais cela n'a pas été négatif sur la bonne réalisation du projet.

Suite à un oubli dans le protocole, le poids des 200 animaux phénotypés n'a pas été récolté. Pour compenser cette perte de données, 20 chèvres adultes ont été pesées pour obtenir le poids des animaux femelles adultes.

VIII. Perspectives

1. Caractérisation des performances zootechniques

La performance zootechnique des caprins sur Mayotte a déjà été évaluée en partie dans le projet PAZEM, avec 24 éleveurs suivis. Cependant, les données récoltées ne permettent pas d'établir de manière fiable les performances zootechniques des troupeaux caprins. Ainsi, il faudrait faire une collecte de données zootechniques sur un nombre conséquent et représentatif d'animaux, avec pour paramètre à suivre :

- Reproduction : taux de mise bas, durée de gestation, âge à la première mise-bas
- Mortalité : taux de mortalité des adultes, des chevreaux et des nouveau-nés
- Croissance : poids à différents âges et selon la saison

2. Caractérisation des performances d'adaptation

L'analyse des performances des caprins mahorais qui ont évolué en s'adaptant aux conditions insulaires de l'île permettrait d'acquérir de nouvelles connaissances pour faire face au changement climatique. L'adaptation à la pression pathologique pourra être étudiée en faisant des évaluations des parasites internes (OPG) et en comparant avec la réponse immunitaire (taux de globules) et physique (note d'état corporel) des caprins.

L'adaptation aux conditions climatiques peut également être regardée avec l'observation de paramètres physiologiques en lien avec le stress thermique : fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, température rectale, état de déshydratation.

L'adaptation aux ressources alimentaires disponibles peut être évaluée avec l'observation de l'évolution de la note d'état corporelle sur une année, ce qui apporterait des indications sur la résistance de la chèvre mahoraise à la sous-alimentation présente à certaines périodes de l'année. L'efficacité digestive, au travers de l'analyse des fèces, peut être intéressante à estimer.

Ces données permettraient de mieux appréhender l'adaptation climatique, sanitaire et alimentation des caprins mahorais en opposition aux caprins croisés ou de races exotiques.

3. Conservation de la race

L'étude de l'évolution démographique de la population a mis en évidence l'importance de faire reconnaître et conserver la race de chèvre locale.

Ce processus de reconnaissance s'appuie sur un organisme de sélection (OS) qui peut être une association locale d'éleveurs. Avec l'évolution de la réglementation, ce n'est plus une race qui est reconnue mais un programme de sélection. Ainsi, un programme de sélection de la chèvre mahoraise doit être proposé par un OS auprès du ministère pour que la chèvre mahoraise obtienne un code race. Pour avoir une conservation optimale de la race, il faut le maintien d'un noyau en race pure.

Pour la gestion optimale de la race, des outils tels qu'un inventaire, un livre généalogique, des grilles de notation et des systèmes de pointage doivent être mis en place.

Une bonne gestion de la population suppose une connaissance exhaustive du cheptel caprin, il faudrait ainsi que tous les animaux soient identifiés et rentrés dans une base de données pour avoir les effectifs réels et leurs évolutions.

Une revalorisation de l'image de la chèvre mahoraise auprès du grand public est importante pour sensibiliser les consommateurs et influencer sur le marché de l'île.

4. Recensement, suivi et gestion des populations caprines

Actuellement, aucun organisme n'identifie les caprins à Mayotte. Pour suivre et gérer les populations caprines, une identification des animaux est primordiale. L'identification peut se faire au moyen de boucles visuelles ou d'une boucle visuelle à une oreille et d'une boucle électronique à l'autre.

Cette étude n'a pas permis de quantifier le nombre de caprins mahorais ni d'animaux croisés. Elle a juste permis de créer un échantillon fiable des différents types d'animaux à Mayotte pour extrapoler à la population caprine estimée au l'île.

L'identification des caprins par le bouclage est fortement demandée par les éleveurs. Ainsi, une fois l'identification des petits ruminants reprise par la CAPAM, il ne devrait pas y avoir de frein à l'identification de la population.

L'arrivée de l'insémination caprine de manière officielle sur Mayotte rend ce travail d'identification des animaux, de leur filiation et de leur parenté, d'autant plus urgent, pour éviter d'arriver au même

cas que le zébu mahorais où les croisements non contrôlés rendent l'identification d'animaux de race zébu mahorais beaucoup plus difficile.

Conclusion

La chèvre mahoraise forme une race de gabarit globalement homogène mais présente un phénotype varié concernant la robe et les cornes notamment. La population caprine mahoraise forme une race spécifique de l'île, proche des races malgaches et africaines. Afin de ne pas perdre cette souche locale adaptée aux conditions d'élevage parfois difficiles de Mayotte, il paraît indispensable de faire reconnaître la race de manière officielle par le Ministère de l'Agriculture. Dans le futur, cela permettra de faire des suivis de la population et des effectifs, d'attribuer des aides aux éleveurs ayant des chèvres locales et de mettre en place des programmes de conservation de la race.

Les capacités d'adaptation et de production développées par la chèvre mahoraise depuis son arrivée sur l'île sont encore mal connues. Des études zootechniques et génétiques ultérieures permettront de quantifier le degré d'adaptation des caprins aux contraintes mahoraises en comparant les populations locales et les populations importées ou croisées.

Sur le long terme, ces résultats permettront la mise en place d'un schéma de conservation et de valorisation de la race de chèvre mahoraise.

Bibliographie

AGRESTE, 2011. *Synthèse illustrée du recensement agricole 2010*. Mamoudzou. ISBN 978-2-11-097681-9.

ALEXANDRE, G., 1991. Croissance pré-sevrage des chevreaux en Guadeloupe. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. 1 mai 1991. Vol. 44, n° special, pp. 57-62.
DOI 10.19182/remvt.9232.

ALLIBERT, C., 1984. *Mayotte, plaque tournante et microcosme de l'Océan Indien - Son histoire avant 1841*. Editions Anthropos. Paris.

CHEKE, A., 2010. The timing of arrival of humans and their commensal animals on Western Indian Ocean oceanic islands. 2010. pp. 38-69.

COLLI, L., MILANESI, M., TALENTI, A., BERTOLINI, F., CHEN, M., CRISÀ, A., DALY, K. G., DEL CORVO, M., GULDBRANDTSEN, B., LENSTRA, J. A., ROSEN, B. D., VAJANA, E., CATILLO, G., JOOST, Stéphane, NICOLAZZI, E. L., ROCHAT, E., ROTHSCHILD, M. F., SERVIN, B., SONSTEGARD, T. S., STERI, R., VAN TASSELL, C. P., AJMONE-MARSAN, P., CREPALDI, P., STELLA, A. et THE ADAPTMAP CONSORTIUM, 2018. Genome-wide SNP profiling of worldwide goat populations reveals strong partitioning of diversity and highlights post-domestication migration routes. *Genetics Selection Evolution*. Décembre 2018. Vol. 50, n° 1, pp. 58. DOI 10.1186/s12711-018-0422-x.

DALY, K., MAISANO DELSER, P., MULLIN, V., SCHEU, A., MATTIANGELI, Valeria, TEASDALE, M., HARE, A., BURGER, J., VERDUGO, M. P., COLLINS, M., KEHATI, R., EREK, C. M., BAR-OZ, G., POMPANON, F., CUMER, T., ÇAKIRLAR, C., MOHASEB, A. F., DECRUYENAERE, D., DAVOUDI, H., ÇEVİK, Ö., ROLLEFSON, G., VIGNE, J-D., KHAZAELI, R., FATHI, H., DOOST, S. B., RAHIMI SORKHANI, R., VAHDATI, A. A., SAUER, E., AZIZI KHARANAGHI, H., MAZIAR, S., GASPARIAN, B., PINHASI, R., MARTIN, L., ORTON, D., ARBUCKLE, B., BENECKE, N., MANICA, A., HORWITZ, L. K., MASHKOUR, M. et BRADLEY, D., 2018. Ancient goat genomes reveal mosaic domestication in the Fertile Crescent. *Science*. 6 juillet 2018. Vol. 361, n° 6397, pp. 85-88. DOI 10.1126/science.aas9411.

DE VIENNE, Damien M., 2016. Lifemap: Exploring the Entire Tree of Life. *PLOS Biology*. 22 décembre 2016. Vol. 14, n° 12, pp. e2001624. DOI 10.1371/journal.pbio.2001624.

DJAGBA, A Y, BONFOH, B, DAYO, G.-K., AKLIKOKOU, K. et BASSOWA, H., 2019. Variabilité des caractères morphologiques mesurables de la chèvre Djallonké dans les zones agro-écologiques du Togo. 2019. Vol. 37, pp. 21.

FAO, 2013. Caractérisation phénotypique des ressources génétiques animales. *Directives FAO sur la production et la santé animales*. 2013. Vol. 11, pp. 151.

FAO, 2015. *The second report on the state of the world's animal genetic resources for food and agriculture* [en ligne]. B.D. Scherf&D. Pilling. Rome : FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. ISBN 978-92-5-108820-3. Disponible à l'adresse : <http://www.fao.org/3/a-i4787e.pdf>

GKIASTA, M., RUSSELL, T., SHENNAN, S. et STEELE, J., 2003. Neolithic transition in Europe : the radiocarbon record revisited. 2003. pp. 45-62.

HASSAN, F. A., 2000. Climate and cattle in North Africa : a first approximation. In : *The Origins and Development of African Livestock : Archaeology, Genetics, Linguistics and Ethnography*. London : Routledge. pp. 61-86. ISBN 1-84142-018-2.

JANELLE, J, ISSOUFI, A, GRIMALDINE, A et TILLARD, E, 2013. Référentiel technico-économique des élevages d'ovins et de caprins à Mayotte. 2013. pp. 62.

JING, Y., HAN, J-L et BLENCH, R., 2008. Livestock in ancient China : an archaeozoological perspective. In : *Past human migrations in East Africa : matching archaeology, linguistics and genetics* [en ligne]. London : Routledge. pp. 86-104. ISBN 978-0-415-39923-4. Disponible à l'adresse : https://www.researchgate.net/profile/Han-Jianlin/publication/289532733_Livestock_in_ancient_China_an_archaeozoological_perspective/links/568f89df08ae78cc0517ecc6/Livestock-in-ancient-China-an-archaeozoological-perspective.pdf

LESNOFF, M., LANCELOT, R., MOULIN, C-H., MESSAD, S., JUANÈS, X. et SAHUT, C., 2014. *Calculation of Demographic Parameters in Tropical Livestock Herds* [en ligne]. Dordrecht : Springer Netherlands. ISBN 978-94-017-9025-3. Disponible à l'adresse : <http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-9025-0>

MANI, M., MARICHATOU, H., MOUICHE, M.M.M., ISSA, M., CHAÏBOU, I., SOW, A., CHAÏBOU, M. et SAWADOGO, J.G., 2014. Caractérisation de la chèvre du sahel au Niger par analyse des indices biométriques et des paramètres phénotypiques quantitatifs. *Animal Genetic Resources/Ressources génétiques animales/Recursos genéticos animales*. juin 2014. Vol. 54, pp. 21-32. DOI 10.1017/S2078633614000046.

MAYOTTE LA 1ÈRE, 2020. Le manque de foncier freine l'installation des jeunes agriculteurs à Mayotte. *Mayotte la 1ère* [en ligne]. 2020. Disponible à l'adresse : <https://la1ere.francetvinfo.fr/mayotte/manque-foncier-freine-installation-jeunes-agriculteurs-mayotte-801913.html>

MÉTÉO FRANCE, 2020. Description du climat de Mayotte. [en ligne]. 2020. Disponible à l'adresse : <http://www.meteofrance.yt/climat/description-du-climat>

MINISTÈRE DES OUTRE-MER, 2016. Mayotte - Géographie & climat. [en ligne]. 25 novembre 2016. Disponible à l'adresse : <https://outre-mer.gouv.fr/mayotte-geographie-climat>

MIORA, T.R, 2016. *Caractérisation phénotypique des chèvres autochtones dans cinq régions de Madagascar*. Université d'Antananarivo.

PEREIRA, F., QUEIROS, S., GUSMAO, L., NIJMAN, I. J., CUPPEN, E., LENSTRA, J. A., ECONOGENE CONSORTIUM, DAVIS, S., NEJMEDDINE, F. et AMORIM, A., 2009. Tracing the History of Goat Pastoralism: New Clues from Mitochondrial and Y Chromosome DNA in North Africa. 2009. pp. 2765-2773. DOI 10.1093/molbev/msp200.

PETERS, J., VON DEN DRIESCH, A. et HELMER, D., 2005. The upper Euphrates-Tigris basin: cradle of agro-pastoralism? In : *First Steps of Animal Domestication*. Oxbow Books. pp. 96-124. ISBN 1-84217-121-6.

PORTER, V., 1996. *Goats of the world*. [en ligne]. Ipswich : Farming Press. ISBN 0-85236-347-8. Disponible à l'adresse : <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19970100633>

SEMAKULA, J., MUTETIKKA, D., KUGONZA, R.D et MPAIRWE, D., 2010. Variability in Body Morphometric Measurements and Their Application in Predicting Live Body Weight of Mubende and Small East African Goat Breeds in Uganda. *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2010. pp. 9.

SERVICES DE L'ÉTAT À MAYOTTE, 2015. Histoire et Géographie. [en ligne]. 14 août 2015. Disponible à l'adresse : <https://www.mayotte.gouv.fr/Politiques-publiques/Culture-Tourisme-et-Patrimoine/Decouvrir-Mayotte/Histoire-et-Geographie>

WIKIPÉDIA, 2020. Mayotte. [en ligne]. 2020. Disponible à l'adresse : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Mayotte>

ANNEXE 1 : Variables et modalités des variables qualitatives relevées sur chaque individu

	Variables	Modalités
Corps	Patron de robe	Eumélanique, Joue rouge, Eumélanique et feu, Eumélanique et feu ventre clair, Chamoisé, Sauvage, Mantelé postérieur, Mantelé antérieur, Phaeomélanique, Invisible
	Couleur de base du patron	Noire, Marron, Phaeomélanique, Invisible
	Motif de la robe	Uni, Pie, Moucheté
	Proportion de pie	Moins de $\frac{1}{4}$, Entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{2}$, Entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{3}{4}$, Plus de $\frac{3}{4}$, Robe non pie
	Couleur principale de la robe	Noire, Rouge foncé, Rouge clair Fauve, Blanc, Gris, Rouan
	Couleurs secondaires de la robe	Noire, Rouge foncé, Rouge clair Fauve, Blanc, Gris, Rouan
	Couleur de la peau	Pigmentée, Non pigmentée
	Types de poils	Brillants, Mats, Doux, Poils longs raides, Poils durs frisés
	Profil de la ligne du dos	Droit, Descend vers la croupe, Descend à partir du garrot, Creusé (incurvé)
	Profil de la croupe	Plat, Pentu, Pointu
	Couleur des onglons	Noirs, Bruns, Blancs, Plusieurs couleurs
	État d'engraissement	Très mince, Mince, Normal, Gras, Très gras
	Tête	Marque en tête
Présences de cornes		Oui, Non
Forme de la corne		Partielle, Droite, Courbe, En spirale, En tire-bouchon
Orientation de la corne		Latérale, Oblique vers le haut, En arrière, Cornes flottantes, Sans cornes, Moignons
Symétrie des cornes		Oui, Non
Couleur des cornes		Noires, Brunnes, Blanches, Plusieurs couleurs
Orientation de l'oreille		Dressée, Semi-pendante, Pendante, Horizontale
Forme de l'oreille		Large, Moyenne, Fine, Trace
Profil facial		Droit, Concave, Convexe, Ultra-convexe
Présence de pampilles		Oui, Non
Présence de barbe	Oui, Non	

	Présence de collerette	Oui, Non
Organe femelle	Forme des mamelles	Bien formées, Mal formées, Peu développées, Bien développées, Pas de mamelles
	Emplacement des trayons	Vers l'avant, Vers l'arrière, Centré, Vers l'intérieur, Vers l'extérieur, Pas de trayons

ANNEXE 2 : Variables et modalités des variables qualitatives relevées sur chaque troupeau

	Variables	Modalités
Cornes	Présences de cornes	Pourcentage de mâles et de femelles avec des cornes
	Orientation de la corne	Pourcentage de mâles et de femelles avec des cornes : Latérale, Oblique vers le haut, En arrière, Cornes flottantes, Sans cornes, Moignons

ANNEXE 3 : Protocole d'extraction d'ADN

Isolation of Genomic DNA from Whole Blood with the Wizard Genomic DNA Purification Kit

Reagents (room temperature) :

- Reagents provided in the Wizard kit
- Isopropanol
- Ethanol 70%
- DNA rehydration solution : TE 10:1 pH=7 for bovine blood (Kit)

Materials :

- sterile 50ml tubes (1/sample)
- sterile 15ml tubes (1/sample)
- sterile 1.5ml safelock microcentrifuge tubes (1/sample)
- 37°C incubator (with shaker) or water bath (37°C)
- Centrifuge with rotor swing out for 50ml and 15 ml tubes
- Microcentrifuge 1.5/2 ml

Volumes :

Sample vol	Lysis solution Cell	Lysis solution Nuclei	Protein Precipitation Solution	Isopropanol	DNA Rehydration Solution (TE10:1)
10 ml	30 ml	10 ml	3.3 ml	10 ml	600 µl
5 ml	15 ml	5 ml	1.65 ml	5 ml	300 µl
3 ml	9 ml	3 ml	0.99 ml	3vml	180 µl
2 ml	6 ml	2 ml	0.66 ml	2 ml	120 µl
1.5 ml	4.5 ml	1.5 ml	0.495 ml	1.5 ml	90 µl

Protocole :

A. Red Blood Cell Lysis

1. Using volumes from the table above, combine the appropriate volumes of Cell Lysis Solution and blood (in 50ml tubes). Mix by inversion ;
2. Incubate for 10 minutes at room temperature (invert 2-3 times once during incubation);
3. Centrifuge : $3,700 \times g$ (4200 rpm, Jouan) ; 15 minutes at room temperature (2000g in the Promega protocol) ;
4. Remove and discard as much supernatant as possible without disturbing the pellet. Approximately 750µl of residual liquid will remain (for 5ml sample).
If blood sample has been frozen, add an additional volume of Cell Lysis Solution, invert 5–6 times to mix, and repeat Steps 2–3 until pellet is nearly white. There may be some loss of DNA in frozen samples
5. Vortex the tube vigorously until the white blood cells are resuspended (15 s)

B. Nuclei Lysis

6. Using volumes from the table above, add Nuclei Lysis Solution and mix by inversion. Vortex for 30 seconds. Incubate for 30 min-1 hour at 37°C with low shaking (150RPM ; the tubes are placed horizontally). During the incubation step, add appropriate volume of isopropanol in each 15ml tube as indicated in the table above.

C. Protein Precipitation

7. Add Protein Precipitation Solution ; mix by inversion. Wait for 5 minutes
8. Centrifuge : $3,700 \times g$; 15 minutes

D. DNA Precipitation and Rehydration

9. Transfer supernatant to a new tube containing isopropanol (using volumes from table above).
10. Mix by inversion to obtain DNA jellyfish
11. Transfer jellyfish to a 1.5 Eppendorf tube
12. Add 1 ml 70% ethanol.
13. Centrifuge at max speed in a standard bench centrifuge
14. Aspirate the ethanol and air-dry the pellet (at 4°C , 24 hours).
15. Rehydrate the DNA in the appropriate volume of DNA rehydration solution (TE 10:1) at 4°C overnight as indicated in the table above.

ANNEXE 4 : Liste des animaux génotypés

N°Animal	N°échantillon	N°Animal	N°échantillon	N°Animal	N°échantillon
DACA001	Ca001	DACA072	Ca070	DACA137	Ca0135
DACA004	Ca003	DACA073	Ca071	DACA138	Ca0136
DACA006	Ca005	DACA075	Ca073	DACA139	Ca0137
DACA009	Ca008	DACA077	Ca075	DACA140	Ca0138
DACA012	Ca011	DACA078	Ca076	DACA142	Ca0140
DACA013	Ca012	DACA081	Ca079	DACA144	Ca0142
DACA014	Ca013	DACA082	Ca080	DACA145	Ca0143
DACA015	Ca014	DACA084	Ca082	DACA150	Ca0148
DACA018	Ca017	DACA085	Ca083	DACA151	Ca0149
DACA023	Ca022	DACA086	Ca084	DACA154	Ca0152
DACA031	Ca030	DACA087	Ca085	DACA156	Ca0154
DACA032	Ca031	DACA088	Ca086	DACA158	Ca0156
DACA033	Ca032	DACA091	Ca089	DACA159	Ca0157
DACA037	Ca036	DACA095	Ca093	DACA160	Ca0158
DACA039	Ca038	DACA097	Ca095	DACA161	Ca0159
DACA040	Ca039	DACA106	Ca0104	DACA162	Ca0160
DACA043	Ca042	DACA107	Ca0105	DACA163	Ca0161
DACA044	Ca043	DACA110	Ca0108	DACA164	Ca0162
DACA045	Ca044	DACA111	Ca0109	DACA165	Ca0163
DACA046	Ca045	DACA112	Ca0110	DACA166	Ca0164
DACA047	Ca046	DACA116	Ca0114	DACA167	Ca0165
DACA048	Ca047	DACA118	Ca0116	DACA168	Ca0166
DACA050	Ca049	DACA121	Ca0119	DACA169	Ca0167
DACA054	Ca053	DACA122	Ca0120	DACA170	Ca0168
DACA055	Ca054	DACA124	Ca0122	DACA171	Ca0169
DACA056	Ca055	DACA125	Ca0123	DACA173	Ca0171
DACA058	Ca056	DACA127	Ca0125	DACA176	Ca0174
DACA062	Ca060	DACA128	Ca0126	DACA181	Ca0179
DACA066	Ca064	DACA129	Ca0127	DACA190	Ca0188
DACA068	Ca066	DACA130	Ca0128	DACA194	Ca0192
DACA070	Ca068	DACA131	Ca0129	DACA195	Ca0193
DACA071	Ca069	DACA136	Ca0134	DACA200	Ca0198

ANNEXE 5 : Jeu de données pour l'étude des caractéristiques génétiques du caprin mahorais

Groups/Origine	Breed Code	Breed name	Number
East-Africa	ABR	Abergelle	53
Madagascar	AND	Androy	7
Angoras	ANK	Ankara	20
South eastern Europe	ARG	Argentata	24
South western Europe	BEY	Bermeya	24
Alpines	BIO	Bionda dell'Adamello	24
Boers	BOE	Boer (all pop)	332
Egypt	BRK	Barki	137
West Africa	CAM	Cameroon goat	40
South eastern Europe	CCG	Ciociera Grigia	19
Central Asia	DDP	DDP	22
Madagascar	DIA	Diana	17
South eastern Europe	DIT	Di Teramo	24
South Africa	DZD	Dedza	15
Alpines	FSS	Fosses	26
East-Africa	GAL	Galla	23
South eastern Europe	GAR	Garganica	20
South eastern Europe	GGT	Girgentana	30
West Africa	GUE	Malagueña	25
East-Africa	GUM	Gumez	41
Central Asia	KAC	Kachan	24
East-Africa	KAR	Karamonja	20
East-Africa	KEF	Keffa	49
Angoras	KIL	Kil	25
South Africa	LND	Landin	33
South eastern Europe	LNR	Landrace (all pop)	20
East-Africa	MAA	Maasai	20
South western Europe	MAL	Mallorquina	95
Mayotte	MAY	Mayotte	21
Madagascar	MEN	Menabe	42
South western Europe	MLG	Malaguena	23
South Africa	MSH	Mashona	20
South western Europe	MUG	Murciano-Granadina	23
Alpines	ORO	Orobica	72
Egypt	OSS	Oasis	19
Central Asia	PAH	Pahari	25
West Africa	PEU	Peulh	22
East-Africa	PRW	Pare White	29
Alpines	PTV	Poitevine	27
South western Europe	PYR	Pyreanean	20
South western Europe	RAS	Blanca de Rasquera	21
West Africa	RSK	Red Sokoto	165

West Africa	SAH	Sahel	15
East-Africa	SEA	Small East African	55
East-Africa	SEB	Sebei	24
Egypt	SID	Saidi	60
East-Africa	SNJ	Sonjo	22
Madagascar	SOF	Sofia	24
Madagascar	SOU	Sud ouest	10
West Africa	TAR	Targui	22
Central Asia	TED	Teddi	49
Central Asia	THA	Thari	16
Alpines	VAL	Valdostana	24
Alpines	VSS	Valpassiria	24
West Africa	WAD	West African Dwarf	55
East-Africa	WYG	Woyito Guji	46

ANNEXE 6 : Méthode de Mac Master

La méthode de Mac Master est une méthode quantitative basée sur le principe de la flottation. Elle consiste à compter le nombre d'éléments parasitaires contenus dans 0,30 mL d'une suspension de matière fécale diluée au 1/15^{ème}.

La lame de Mac Master est composée de deux compartiments contigus séparés par une cloison, chacun d'entre eux ayant un volume de 0,15 mL. Le plafond de chaque compartiment est divisé en 6 cellules de 1,7 mm de largeur

Réalisation :

- Réaliser l'inspection macroscopique du prélèvement
- Homogénéiser le prélèvement au moyen d'un mortier et d'un pilon.
- Peser précisément 1 gramme de matières fécales.
- Ajouter à ce prélèvement 14 mL d'une solution de flottation et homogénéiser le mélange à l'aide d'un agitateur.
- Prélever un échantillon de la suspension à la seringue.
- Remplir à l'aide d'une seringue de 1 mL chacun des deux compartiments de la lame de Mac Master avec la suspension.
- Poser la lame sur la platine du microscope et attendre pendant 5min environ que les œufs remontent.
- Se placer à l'objectif x10 (la largeur des cellules est alors juste contenue dans le champ du microscope).
- Faire défiler successivement les 6 cellules et compter le nombre total d'œufs en les identifiant.

Calcul du nombre d'œufs par gramme de fèces (OPG) :

Chaque cellule a un volume connu de 0,15 mL donc, comme la solution est diluée au quinzième, le nombre d'œufs comptés est celui contenu dans un centième de gramme de fèces. Pour obtenir le nombre d'œufs par gramme, on multiplie le résultat obtenu lors du comptage sur un compartiment par un facteur 100. On conseille de compter les deux compartiments, le facteur de multiplication sera alors de 50.

Conclusion : OPG = nombre d'œufs dans les deux compartiments x 50.

Remarque : afin d'obtenir un résultat statistiquement significatif, il est recommandé de pratiquer plusieurs lectures de lames et d'en effectuer la moyenne.

Avantages :

La méthode de Mac Master permet une étude coproscopique quantitative. Elle est assez rapide.

Limites :

La lecture ne peut se faire qu'avec l'objectif x10. Les éléments de très petite taille (protozoaires) ne pourront donc pas être identifiés et ni comptés.

De même, on ne peut pas faire une analyse quantitative des larves. En effet, leur mobilité les entraîne vers le bas de la cellule alors que la mise au point se fait dans la partie supérieure.