

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ IBN KHALDOUN TIARET

INSTITUT DES SCIENCES VÉTÉRINAIRES



THÈSE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT
3^{ème} Cycle

OPTION : SCIENCES VÉTÉRINAIRES

THÈME

Impact du Profil Minéral sur les Paramètres de la Reproduction
chez les Petits Ruminants en Algérie

PRÉSENTÉE ET SOUTENUE PAR

GUEBLI BOUTHEYNA

Jury :

Président : Benia Ahmed Réda	Professeur	Université de Tiaret
Rapporteur : Smail Fadhéla	MCA	Université de Tiaret
Co-rapporteur : Chikhaoui Mira	Professeur	Université de Tiaret
Examineur : Debib Aicha	Professeur	Centre universitaire de Tipaza
Examineur : Bourabah Akila	Professeur	Université de Tiaret
Examineur : Yahia Achour	MCA	Université de Blida I
Examineur : Ayad Amine	MCA	Université de Tiaret

Année universitaire : 2024-2025

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو دراسة التغيرات وتأثير بعض المعادن على معايير التكاثر خلال مراحل التكاثر المختلفة عند الماعز والنعاج من سلالات مختلفة. وأيضاً، تقييم تأثير السلالة، والولادة، والمرحلة الفيزيولوجية والجنس على خصائص المعادن والخصائص التكاثرية. ولهذا الغرض، تم إعطاء المكملات الغذائية المعتمدة على المورينجا أوليفيرا للنعاج في نهاية الحمل بهدف تقييم تأثير هذا النبات على التباين في المظهر المعدني والأداء الإيجابي ووزن الاحمال.

أجريت تجربتنا في الفترة من أغسطس 2022 إلى يونيو 2023. تناولت الدراسة تحليل 522 عينة بلازما شملت 495 عينة من الإناث و27 من الذكور، موزعة على النحو التالي 170 من سلالة الرمبي (Rembi)، و135 من سلالة أولاد جلال (Ouled Djelal)، و72 من سلالة العربية (Arbia)، و77 من سلالة الألب (Alpine)، و68 من سلالة السانين (Saanen).

ظهر تحليل تأثير السلالة في الماعز الألبى والسانين وجود فرق كبير للغاية ($P < 0.01$) لتركيز الكالسيوم والمغنيسيوم خلال فترة الشبق. وأظهرت مستويات الكالسيوم فقط فرقاً كبيراً ($P < 0.01$) أثناء الحمل المبكر. بالإضافة إلى ذلك، تم تسجيل فروق كبيرة في البوتاسيوم والمغنيسيوم والكالسيوم في منتصف الحمل. تم ملاحظة فروق كبيرة بين المجموعات لمستويات الصوديوم والبوتاسيوم ($P < 0.05$) ومستويات الكلور والفسفور والكالسيوم والحديد خلال الشهر الأخير من الحمل. وأظهرت مستويات الفسفور والكالسيوم والحديد فروقاً كبيرة خلال فترة ما بعد الولادة. علاوة على ذلك، أظهرت معايير الأداء التناسلي المختلفة أن أداء الماعز الألبى كان أفضل مقارنة بالماعز السانين.

ووفقاً لدراسة تأثير الولادات في سلالة عربية وجدت فروق معنوية ($P < 0.05$) في مستويات الفسفور والكالسيوم والحديد خلال الأشهر الأخيرة من الحمل وفترة ما بعد الولادة. توجد علاقة معنوية بين مستوى المعادن في البلازما في نهاية الحمل وعمر ووزن الماعز وقت التزاوج. كان وزن جديان الماعز متعددي الولادة أعلى من وزن جديان الماعز البكر. كانت الإناث البكر أكثر خصوبة مقارنة بالإناث متعددة الولادات.

أظهرت نتائج تحليل تأثير السلالة على المظهر المعدني لنعاج الرمبي وأولاد جلال خلال فترة التزاوج والحمل عدم وجود اختلاف كبير في تركيزات المعادن.

كشف تحليل مكملات المورينجا أوليفيرا عن انخفاض كبير في تركيزات الصوديوم في المجموعة 3 (100% تغذية رعوية) ($P < 0.05$). ومع ذلك، أظهر التباين في الكلور بين المجموعتين 3 و 4 (بدون مكملات) اختلافاً كبيراً ($P < 0.05$). أظهرت المجموعة G1 (المكملة بـ 7.5 غ مورينغا/يوم/أنثى) زيادة كبيرة في الكالسيوم والمغنيسيوم والفسفور. المجموعة G3 كان هناك فرق كبير في الكالسيوم والفسفور، بينما زاد المغنيسيوم والفسفور في المجموعة G4 بشكل ملحوظ. لم يكن هناك فرق كبير بين مجموعتي G1 (7.5 غ مورينغا/يوم/أنثى) وG2 (15 جم غ مورينغا/يوم/أنثى) المكملتين والمجموعات التي لم تتلق مكملات G4.

تتمتع كباش أولاد جلال بمستويات أعلى من الإلكتروليت وهرمون التستوستيرون مقارنة بسلالة الرنمبي. بالإضافة إلى ذلك، تم تسجيل مستويات أعلى من الفسفور والمغنيسيوم والكالسيوم والحديد في سلالة الرمبي. بالإضافة إلى ذلك، تحتوي الماعز السانين على مستويات أعلى من الصوديوم والفسفور والمغنيسيوم والكالسيوم والحديد مقارنة بالسلالات الأخرى. تتمتع الماعز العربي بمستويات أعلى من هرمون التستوستيرون.

يعد تقييم الحالة المعدنية للحيوانات المجترة مفيداً في الحالات التي تكون فيها الإنتاجية والأداء الإيجابي أقل من المتوسط، مما يمنع نقص التغذية والفواض والأمراض، ويعزز رعاية الحيوان.

الكلمات المفتاحية: المعادن، المورينجا أوليفيرا (البان الزيتي)، مؤشرات التكاثر، المجترات الصغيرة، مرحلة التكاثر، المكملات.

Résumé

Le but principal de cette recherche était d'étudier les variations et l'influence de certains minéraux sur les paramètres de reproduction pendant les différentes phases de la reproduction chez des chèvres et des brebis de différentes races. Ainsi que, d'évaluer l'impact de la race, la parité, le stade physiologique, et le sexe sur le profil minéral et les caractéristiques de la reproduction. De plus, une supplémentation à base de *Moringa oleifera* a été administrée chez des brebis en fin de gestation dans le but d'évaluer l'effet de cette plante sur la variation du profil minéral, la fertilité, la fécondité, la prolificité et le poids des agneaux à la naissance.

Notre expérimentation s'est déroulée d'août 2022 à juin 2023. L'étude a analysé 522 échantillons de plasma, comprenant 495 femelles et 27 mâles, répartis comme suit : 170 pour la race Rembi, 135 pour la race Ouled Djelal, 72 pour la race Arbia, 77 pour la race Alpine et 68 pour la race Saanen.

L'analyse de l'impact de la race des chèvres Alpine et Saanen a révélé une différence très significative ($P < 0,01$) pour la concentration de Ca et de Mg pendant la période œstrale. Seuls les niveaux de Ca présentaient une différence significative ($P < 0,01$) pendant le début de gestation. De plus, des différences significatives pour K, Mg et Ca en milieu de gestation ont été enregistrées. Des différences significatives ont été observées entre les groupes Alpine et Saanen pour les niveaux de Na et K ($P < 0,05$) et les niveaux de Cl, P, Ca et Fe ($P < 0,01$) au cours du dernier mois de gestation. Les niveaux de P, Ca, Fe ont présentés des différences significatives pendant la période post-partum. De plus, les différents paramètres de performance reproductive ont montré que les chèvres alpines étaient plus performantes par rapport aux chèvres Saanen.

Selon l'étude de l'effet de la parité chez la race Arbia, des variations importantes ($P < 0,05$) ont été constatées dans les niveaux de P, Ca et Fe pendant les derniers mois de gestation et la période post-partum. Il existe une corrélation importante entre le paramètre plasmatique des minéraux à la fin de la gestation et l'âge et le poids des chèvres au moment de l'accouplement. Le poids de naissance des chevreaux des femelles multipares était supérieur à celui des chevreaux des femelles primipares. Les femelles primipares étaient plus fertiles rapport aux femelles multipares.

Les résultats de l'analyse de l'influence de la race sur le profil minéral des brebis Rembi et Ouled Djelal pendant la période d'accouplement et la gestation ne révélant aucune différence significative dans les concentrations minérales ($P > 0,05$).

L'analyse de la supplémentation en *Moringa oleifera* a révélé une baisse significative des concentrations de Na dans le G3 (nourrie par le pâturage (100%)) ($P < 0,05$). Toutefois, la variation de Cl entre les groupes 3 et 4 (sans supplémentation) présentait une différence significative ($P < 0,05$). Le G1 (complété par 7,5 g de MO /Jour/ femelle) a montré une augmentation significative des taux de Ca, Mg et P. Le G3 avait une différence significative des taux de Ca et de P. Le Mg et le P de G4 ont augmentés significativement. Il n'y a pas de différence significative notable entre les groupes supplémentés G1 (7,5 g de MO /Jour/ femelle) et G2 (15 g de MO /Jour/ femelle) et ceux qui ne reçoivent pas de suppléments G4.

Les béliers Ouled Djelal ont des niveaux d'électrolytes et de testostérone plus élevés par rapport à la race Rembi. En outre, des niveaux plus élevés de P, Mg, Ca et Fe, ont été enregistrés chez la race Rembi. De plus, les boucs Saanen ont des taux de Na, P, Mg, Ca et Fe plus élevés que les autres races. Les boucs de la race Arbia ont un taux de testostérone plus élevé.

L'évaluation de l'état minéral des ruminants est bénéfique dans les situations où la productivité et les performances de reproduction sont inférieures à la moyenne, prévenant les carences, les excédents et les maladies nutritionnelles, et favorisant le bien-être animal.

Mot clés : Minéraux, *Moringa oleifera*, paramètres de reproduction, petits ruminants, stade reproductif, supplémentation.

Abstract

The main aim of this research was to study the variations and influence of some minerals on reproductive parameters during different phases of reproduction in goats and sheep of different breeds. As well as, to evaluate the impact of breed, parity, physiological stage, and sex on the mineral profile and reproductive characteristics. In addition, *Moringa oleifera*-based supplementation was administered to ewes at the end of gestation in order to assess the effect of this plant on variations in mineral profile, fertility, fertility, prolificacy and lamb birth weight.

Our experiment took place from August 2022 to June 2023. The study analyzed 522 plasma samples, comprising 495 females and 27 males, distributed as follows: 170 for the Rembi breed, 135 for the Ouled Djelal breed, 72 for the Arbia breed, 77 for the Alpine breed and 68 for the Saanen breed.

Breed impact analysis of Alpine and Saanen goats revealed a highly significant difference ($P < 0.01$) for Ca and Mg concentration during the estrous period. Only Ca levels showed a significant difference ($P < 0.01$) during early gestation. In addition, significant differences for K, Mg and Ca in mid-gestation were recorded. Significant differences were observed between groups for Na and K levels ($P < 0.05$) and Cl, P, Ca and Fe levels ($P < 0.01$) during the last month of gestation. P, Ca, Fe levels showed significant differences during the postpartum period. Moreover, the different reproductive performance parameters showed that Alpine goats performed better compared to Saanen goats. According to the study of the effect of parity in Arbia breed, significant variations ($P < 0.05$) were found in the levels of P, Ca and Fe during the last months of gestation and the postpartum period. There was a significant correlation between the plasma parameter of minerals at the end of gestation and the age and weight of goats at the time of mating. The birth weight of kids from multiparous females was higher than that of kids from primiparous females. Primiparous females were more fertile than multiparous females.

The results of the analysis of the influence of the breed on the mineral profile of Rembi and Ouled Djellal ewes during the mating period and gestation reveal no significant difference in mineral concentrations ($P > 0.05$).

Analysis of *Moringa oleifera* supplementation revealed a significant drop in Na concentrations in G3 (pasture-fed (100%)) ($P < 0.05$). However, the Cl variation between groups 3 and 4 (without supplementation) showed a significant difference ($P < 0.05$). G1 (supplemented with 7.5 g MO /Day/ female) showed a significant increase in Ca, Mg and P. G3 had a significant difference in Ca and P. Mg and P in G4 increased significantly. There was no significant difference between the G1 (7.5 g MO /Day/ female) and G2 (15 g MO /Day/ female) supplemented groups and those not receiving G4 supplements.

Ouled Djellal rams have higher electrolyte and testosterone levels compared to Rembi breed. In addition, higher levels of P, Mg, Ca and Fe were recorded in Rembi breed. In addition, Saanen bucks have higher Na, P, Mg, Ca and Fe levels than other breeds. Arbia bucks have higher testosterone levels.

Assessment of mineral status in ruminants is beneficial in situations where productivity and reproductive performance are below average, preventing nutritional deficiencies, surpluses and diseases, and promoting animal welfare.

Keywords: Minerals, *Moringa oleifera*, reproductive parameters, small ruminants, reproductive parameters, supplementation.

Remerciements

Ce travail a abouti grâce à DIEU, notre créateur tout puissant, qui m'a donné la volonté, la patience et fourni l'énergie et la force pour l'achever. Gracieux remerciements.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à l'occasion de la réalisation de ma thèse en vue de l'obtention de mon doctorat. C'est avec une grande satisfaction que je franchis cette étape importante de mon parcours, et je suis consciente que cela n'aurait pas été possible sans le soutien et l'aide précieuse de nombreuses personnes.

*Tout d'abord, je tiens à remercier Madame **Smail Fadhéla**, Maître de conférences A à l'ISV de Tiaret, pour avoir accepté de superviser ma thèse. Votre expertise dans le domaine a été une source d'inspiration et d'apprentissage précieuse pour moi. Votre disponibilité et votre volonté de partager vos connaissances ont grandement contribué à mon développement académique et professionnel. Vos conseils éclairés et votre confiance en mes capacités m'ont permis de progresser et d'atteindre des résultats dont je suis fière. Je suis honorée d'avoir eu l'opportunité de travailler sous votre supervision et je vous suis éternellement reconnaissante pour votre accompagnement tout au long de cette aventure. Ce petit remerciement ne sera jamais complet car votre rôle ne sera jamais décrit en mots.*

*Mes vifs remerciements vont à Madame **Chikhaoui Mira**, Professeur à à l'ISV de Tiaret pour ses conseils judicieux, son encouragement et son soutien moral.*

*Un merci spécial à Madame **Boumezrag Assia**, Maître de conférences A à l'ISV de Tiaret, pour son soutien inconditionnel et son accompagnement tout au long de ce projet. Son expertise, sa disponibilité et leur patience ont été des atouts majeurs pour mener cette recherche.*

J'ai l'honneur de remercier vivement les membres de mon jury de thèse :

*A Monsieur **Benia Ahmed**, Professeur à l'ISV de Tiaret, qui a accepté de présider ce jury.*

Mes remerciements s'adressent aussi à Monsieur **Yahia Achour**, Maître de conférences A à l'ISV de Blida, pour sa participation, sa gentillesse et ses précieux conseils.

J'exprime en particulier ma gratitude à Madame **Debib Aicha**, Professeur au Centre Universitaire Morsli Abdullah de Tipaza, pour son aide, son soutien et sa gentillesse.

A Madame **Bourabah Akila**, qui nous a fait l'honneur de faire partie de notre jury de thèse. Sincères remerciements.

Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à Monsieur **Ayad Mohamed Amine**, Maître de conférences A à l'ISV de Tiaret, pour sa participation à de nombreux prélèvements sanguins et ses précieux conseils. Je le remercie également pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

J'aimerais également exprimer ma profonde gratitude à tous les enseignants de l'ISV de Tiaret, qui ont joué un rôle déterminant dans ma formation. Je souhaite remercier, en particulier, Monsieur **Ait Amrane Amar**, Monsieur **Hemida Houari**, Monsieur **Ayad Med Amine**, Monsieur **Belhamiti Tahar**, Monsieur **Hammoudi Si Med** et Monsieur **Saim Mohamed Said**.

Je remercie également madame **Betahar Samia**, Maître de conférences B à l'ISV de Blida pour ces conseils précieux.

Je remercie vivement Dr **Ouled rouis Mohamed Amine**, et le personnel du laboratoire (**Rim, Amel, Imane, Safia, et Zineb**) pour m'avoir accueilli, pour leur disponibilité et les nombreux services qu'ils m'ont rendu durant la réalisation de ce travail, qu'ils trouvent ici le témoignage de mes remerciements les plus respectueux.

Je tiens également à adresser mes remerciements les plus sincères au Directeur **Guendouze Mohamed**, Directeur de l'Institut Technique d'Élevage de Qsar Challala ; Mme **Saada**, Ingénieur d'état en agronomie, Mme **Fatima**, Mme **Amina** et Mme **Houda** pour leur accueil chaleureux et leur encadrement lors de mon bref séjour au sein du centre de recherche.

Je suis très honorée à remercier le Directeur de la ferme Hider de Tiaret, pour pour mes travaux de recherche réalisés au sein de la ferme.

*Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance envers Monsieur **Ferras Nassim**, docteur vétérinaire, pour votre engagement dans la collecte des prélèvements sanguins à la ferme de Tizi Ouzou. Je vous exprime ma gratitude pour votre précieuse assistance, vos contributions incessantes et vos encouragements tout au long de ma carrière.*

*La contribution d'une autre personne a également été cruciale pour la réalisation de cette thèse : je vous remercie, Monsieur **Ben Ahmed Mohamed Amine**, Docteur vétérinaire au sein de la ferme pilote Hider, pour votre participation dans la collecte des prélèvements sanguins et des données cliniques.*

*Je tiens à remercier Dr **Aiche Souad** et madame **Smail Samia**, pour leur aide, leur soutien et leur gentillesse.*

*Aussi, un grand merci à **Yacine**, d'avoir accepté et pris le temps de participer à la correction de mon article.*

Par ailleurs, je ne saurais achever sans remercier tous les enseignants de l'Institut des Sciences Vétérinaires de Blida.

Enfin, je tiens à exprimer ma reconnaissance envers ma famille, mes amies et mes proches pour leur soutien indéfectible tout au long de cette aventure. Leur soutien moral, leurs encouragements et leur compréhension face aux exigences de cette thèse ont été d'une importance capitale pour moi.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail de thèse. Votre confiance, votre expertise et votre soutien inébranlable ont été des éléments essentiels de ma réussite.

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes très chers parents

*Aucune dédicace, aucun mot ne pourrait exprimer à leur juste valeur la gratitude et l'amour que je porte.
Je mets entre vos mains, le fruit de longues années d'études, de longs mois de distance de votre amour de votre tendresse, de longs jours d'apprentissage.
Loin de vous, votre soutien et votre encouragement m'ont toujours donné de la force pour persévérer et pour prospérer dans la vie.
Chaque ligne de cette thèse, chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents.*

A ma grande sœur Dalal

Je souhaite exprimer ma reconnaissance en quelques mots pour toute la motivation, l'aide, les encouragements et les occasions où tu as toujours été mon soutien et ma force.

A mon frère Nedjm Eddine

Je suis reconnaissante pour tous vos encouragements, votre patience et votre soutien.

A ma petite sœur Ikram

*Ma chère petite sœur, ma moitié, ma source d'amour et de courage, je te remercie d'être présente à mes côtés lors des moments difficiles...♥♥♥
Je souhaite à toute ma famille une vie pleine de santé et de bonheur.*

A Nassim

Je souhaite exprimer ma gratitude à Nassim Ferras ainsi qu'à toute sa famille, du grand au petit.

A la famille Hacide et Chaalal

Je vous remercie de m'avoir accueilli tout au long de mon stage pratique.

A mes amies

***Rim, Amel, Amina, Titem, Imane, Yasmine et Chahrazed** Je vous dédie ce travail en signe de l'amitié qui nous lie et des souvenirs de tous les moments que nous avons partagés ensemble.*

A Michou et Prince 🐱 🐾

Sommaire

ملخص.....	i
Résumé.....	ii
Abstract.....	iii
Remerciements.....	iv
Dédicaces.....	v
Sommaire.....	vi
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	viii
Liste des abréviations.....	ix
Introduction.....	1

Première Partie : Revue Bibliographique

CHAPITRE I. RAPPELS SUR LA REPRODUCTION CHEZ LES PETITS RUMINANTS

.....	4
I.1 Anatomie et physiologie de l'appareil génital mâle.....	4
I.1.1 Anatomie des organes reproducteurs du bélier et du bouc.....	4
I.1.2 Physiologie de la reproduction du bélier et du bouc.....	7
I.2 Anatomie et physiologie de l'appareil génital femelle.....	10
I.2.1 Anatomie des organes reproducteurs de la brebis et de la chèvre.....	10
I.2.2 Physiologie de la reproduction de la brebis et de la chèvre.....	13

CHAPITRE II. LE METABOLISME MINERAL ET SON EFFET SUR LA

REPRODUCTION CHEZ LES PETITS RUMINANTS..... 19

II.1 Les macroéléments.....	20
II.1.1 Calcium.....	20
II.1.2 Phosphore.....	22
II.1.3 Magnésium.....	25
II.1.4 Sodium.....	27
II.1.5 Chlore.....	29
II.1.6 Potassium.....	30
II.2 Les oligoéléments.....	32
II.2.1 Fer.....	32

II.2.2 Cuivre	34
II.2.3 Zinc.....	34
II.2.4 Sélénium.....	35
II.2.5 Manganèse.....	35
II.2.6 Cobalt	36
II.2.7 Iode.....	36
CHAPITRE III. ALIMENTATION ET SUPPLEMENTATION MINERAL DES PETITS RUMINANTS	37
III.1 Le rationnement.....	38
III.2 Les exigences nutritionnelles et les recommandations	40
III.2.1 Moment de la lutte	40
III.2.2 Moment de la gestation.....	41
III.2.3 Moment de la lactation.....	43
III.3 <i>Moringa Oleifera</i>	44

Deuxième Partie : Partie Expérimentale

CHAPITRE IV. MATERIEL ET METHODES	45
IV.1 Objectifs	45
IV.2 Monographie des régions de l'étude	46
IV.3 Description des élevages.....	47
IV.4 Matériel	49
IV.4.1 Animaux	49
IV.4.2 Conception de l'étude	50
IV.4.3 Détermination de la taille d'échantillon.....	52
IV.5 Méthodes	54
IV.5.1 Déclaration éthique	54
IV.5.2 Protocole expérimental	55
IV.5.3 Prélèvements sanguins.....	56
IV.5.4 Diagnostic de gestation (examen échographique)	57
IV.5.5 Analyses de laboratoire.....	56
IV.5.6 Analyse de la plante	61
IV.5.7 Pesage	62
IV.5.8 Circonférence scrotale	62

IV.5.9 Paramètres de la reproduction	62
IV.5.10 Carte géographique.....	63
IV.5.11 Analyses statistiques.....	63
CHAPITRE V. RESULTATS	64
V.1 Cheptel national des petits ruminants (2010-2020)	64
V.1.1 Espèce caprine.....	65
V.1.2 Espèce ovine.....	67
V.2 Profil minéral et paramètres de la reproduction	70
V.2.1 Espèce caprine.....	71
V.2.2 Espèce ovine.....	90
V.3 Supplémentation	95
V.3.1 Effet de la supplémentation en <i>Moringa oleifera</i> et du pâturage sur le profil minéral	97
V.3.2 Effet de la supplémentation en <i>Moringa oleifera</i> sur le poids des agneaux	101
V.4 Profil minéral des mâles caprins et ovins pendant l'accouplement	103
V.4.1 Espèce ovine.....	103
V.4.2 Espèce caprine.....	104
CHAPITRE VI. DISCUSSION	105
VI.1 Cheptel national des petits ruminants.....	105
VI.2 Profil minéral et paramètres de la reproduction.....	107
VI.2.1 Espèce caprine	107
VI.2.2 Espèce ovine	114
VI.3 Supplémentation.....	117
VI.4 Profil minéral des mâles caprins et ovins pendant l'accouplement.....	120
VI.4.1 Espèce ovine	120
VI.4.2 Espèce caprine	121
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	122
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	125
ANNEXES.....	152

Liste des figures

Figure 1 : Anatomie de l'appareil génital du bouc	4
Figure 2 : Anatomie de l'appareil génital du bélier.....	4
Figure 3 : Schéma explicatif de la spermatogénèse	8
Figure 4 : Principe de la régulation physiologique de l'axe gonadotrope mâle	9
Figure 5 : L'appareil reproducteur femelle	10
Figure 6 : les différentes phases de l'ovogenèse	14
Figure 7 : Régulation hormonale du cycle sexuel femelle	16
Figure 8 : Le contrôle neuroendocrinien de la reproduction saisonnière chez les petits ruminants.....	17
Figure 9 : Protocole de la synchronisation des brebis.....	51
Figure 10 : Eponge Chronogest ® CR	51
Figure 11 : Injection de 480 UI de PMSG.	51
Figure 12 : Retrait d'éponge vaginale	51
Figure 13 : Schéma du protocole expérimental au niveau des élevages étudiés.....	55
Figure 14 : Analyseur de chimie automatique (modèle : CS-T180)	58
Figure 15 : Analyseur MEDICA Easylyte Na, K, Cl.....	59
Figure 16 : Snibe (MAGLUMI 600)	60
Figure 17 : Matériels utilisés pour le broyage.....	61
Figure 18 : Pastilleuse	61
Figure 19 : Pastille à base des feuilles et tige de <i>Moringa Oleifira</i>	61
Figure 20 : ZSX Primus II de Rigaku.	62
Figure 21 : Carte géographique représente les wilayas ayant le plus de caprins.	66

Figure 22 : Carte géographique représente les wilayas ayant le plus de ovins	69
Figure 23 : Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant la période d'œstrus.....	74
Figure 24 : Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant le début de gestation (1-2 mois).....	75
Figure 25 : Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant la mi – gestation (3-4 mois).....	76
Figure 26 : Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant la fin de gestation (5 mois).....	77
Figure 27 : Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant le postpartum.	78
Figure 28 : Effet de différentes proportions de supplémentation en <i>Moringa oleifera</i> et du pâturage sur les concentrations plasmatiques minérales chez les brebis.....	99

Liste des tableaux

Tableau 1 : Proportions relatives des éléments minéraux dans un organisme de mammifère	38
Tableau 2 : Prévision des besoins de production en éléments minéraux majeurs absorbés (eng/j)	39
Tableau 3 : Apports journaliers recommandés (AJR) en oligo-éléments en mg/kg de MS de laration (adapté de INRA 1988)	40
Tableau 4 : L'alimentation des chèvres dans la ferme de Tizi Ouzou	47
Tableau 5 : L'alimentation des chèvres dans la ferme expérimentale ITELV de Kser Chellala	48
Tableau 6 : L'alimentation des brebis dans la ferme pilote de Melakou	49
Tableau 7 : Alimentation des groupes expérimentaux	52
Tableau 8 : Effectif caprin en Algérie (2010-2020).....	65
Tableau 9 : Effectif ovin en Algérie (2010-2020).....	68
Tableau 10 : Profil minéral chez des chèvres Alpine et Saanen pendant les différentes phases dereproduction.....	71
Tableau 11 : La différence entre les paramètres de reproduction chez les chèvres étudiées derace Alpine et Saanen.	79
Tableau 12 : Variations du profil minéral chez les chèvres Arbia pendant le cycle reproductif	80
Tableau 13 : Impact de la parité des chèvres Arbia sur les concentrations des minéraux au coursdes différentes phases de reproduction	82
Tableau 14 : Corrélation entre l'âge des chèvres, le poids des chèvres à l'accouplement, le poidsdes chevreaux à la naissance et les concentrations plasmatiques des minéraux en fin de gestation.....	85
Tableau 15 : Performances reproductives chez la race Arbia en fonction de la parité	88

Tableau 16 : Profil minéral chez les brebis de la race Rembi.....	89
Tableau 17 : Profil minéral chez les brebis de la race Ouled Djellal.....	91
Tableau 18 : L'effet de la race sur le profil minéral chez les brebis de la race Rembi et OuledDjellal	93
Tableau 19 : Concentration massique des différents composants de <i>Moringa oleifera</i>	95
Tableau 20 : Effet de la supplémentation en <i>Moringa oleifera</i> et du pâturage sur le profil minéraldes brebis en fin de gestation	96
Tableau 21 : Effet de la supplémentation en <i>Moringa oleifera</i> et du pâturage sur le profil minéralpendant la phase post-partum chez les brebis	97
Tableau 22 : Effet de la supplémentation en <i>MO</i> (7,5%) sur le poids des agneaux à la naissance	100
Tableau 23 : Effet de la supplémentation en <i>MO</i> (15%) sur le poids des agneaux à la naissance	101
Tableau 24 : Les variations minérales, hormonale et le périmètre scrotal des béliers de la race Ouled Djellal et Rembi pendant la phase d'accouplement	102
Tableau 25 : Les variations minérales, hormonale et le périmètre scrotal des boucs de la race Saanen, Alpine et Arbia pendant la phase d'accouplement	103

Liste des abréviations

ATP : Adenosine triphosphate

Ca : Calcium

Chr : Chromosome

Cl : Chlore

DMI : Digestibilité Matière Sèche

Fe: Fer

Fe²⁺: Fer ferreux

Fe³⁺: Fer ferrique

FSH: Hormone Folliculo-Stimulante

g: gramme

GIT: Tractus Gastro Intestinal

GnRH: Gonadotropin-Releasing Hormone

GPx4 : Glutathione Peroxidase 4

IG : Intestin grêle

j : jour

K : Potassium

Kg : kilogramme

l : litre

LH : Hormone Lutéinisante

m : mètre

MAPK : Mitogen-activated protein kinase

MEq: milliéquivalent

mg : milligramme

Mg : Magnésium

MIS : Meiosis Inducing Substance

Na : Sodium

NEC : Note d'état Corporel

OMI : Inhibiteur de Maturation des Ovocytes

P : Phosphore

PHGPx : Phospholipid-Hydroperoxide Glutathione Peroxidase

Pi : Phosphore inorganique

PKA : Protéine kinase A

Ppm : partie par million

Pv : Poids vif

ROS : Reactive Oxygen Species

sg : semaine de gestation

Spz : spermatozoïde

Introduction

Introduction

Les systèmes reproducteurs des animaux de ferme sont particulièrement intéressants car non seulement, ils leur permettent d'atteindre un certain niveau de productivité de base, mais ils assurent également leur survie. Ainsi, la production de base est directement conditionnée par une reproduction fréquente. La quantité de lait et de viande produite est donc directement influencée par une reproduction régulière. L'apparition de dysfonctionnements reproductifs est principalement causée par des erreurs d'entretien, de nutrition et des variations techniques ; la fécondité et la fertilité sont les caractéristiques reproductives les plus affectées (**Pascal et Zaharia, 2016**).

Les minéraux peuvent agir comme stimulateurs d'enzymes ou comme cofacteurs, faisant partie du système antioxydant et de la fonction immunitaire (**Hafez, 2019**). Le calcium joue un rôle majeur dans le développement des os et est essentiel à l'activité des enzymes, notamment la coagulation sanguine, la contraction musculaire et la transmission nerveuse. Le phosphore contribue à l'information des éléments constitutifs du système enzymatique et du transport des lipides. Les cations (Na^+ et K^+) et les anions (Cl^-) sont des exemples d'ions sériques qui sont inclus dans un profil chimique ; le cation extracellulaire primaire, Na^+ est responsable de la force osmotique qui maintient intact le compartiment du liquide extracellulaire. Le principal cation intracellulaire, K^+ est strictement contrôlé et présent dans le liquide extracellulaire ; même de petites variations peuvent avoir un impact significatif sur le fonctionnement des organes. L'anion principal du liquide extracellulaire est le chlorure ; un trouble de chlorémie peut affecter la faiblesse des muscles cardiaques, lisses et squelettiques (**Talukdar et Ahmed, 2016 ; Hernández et al., 2020**). Le sang des femmes cycliques contient plus de fer comparé à celui des femmes non cycliques car il est indispensable au processus d'ovulation (**Siddiqui et al., 2018 ; Derar et al., 2022**).

Le rôle des minéraux et oligo-éléments dans la reproduction est incontestable ; ce sont des acteurs clés de l'activité sexuelle des ruminants (**Huang et al., 2022**). Les oligo-éléments sont des intermédiaires nécessaires à la fonction ovarienne, à la maturation de l'ovocyte et au maintien du nombre de follicules stockés à leur niveau normal grâce à leur rôle inévitable dans la sécrétion des gonadotrophines (**Derar et al., 2022**). Pour la reproduction mâle et femelle chez diverses espèces animales, les oligo-éléments sont cruciaux pour la spermatogenèse et la folliculogenèse (**Parmar et Patel, 2015 ; Hafez, 2019**).

L'évaluation des niveaux de différents paramètres sanguins est devenue un facteur crucial et essentiel dans l'évaluation de la productivité, de la santé, des processus métaboliques et de la nutrition d'un animal, ainsi que dans le diagnostic et le pronostic des maladies métaboliques (**Gürdoğan et al., 2006 ; Karapehlivan et al., 2007 ; Tanritanir et al., 2009**). Cependant, la détermination des taux sanguins des différents paramètres biochimiques chez les petits ruminants peut être influencée par divers facteurs, tels que les différents facteurs environnementaux et les différentes méthodes de gestion (**Sharma et Kataria, 2012**), la situation géographique avec des climats différents (**Elzeinet al., 2016 ; Abd El-Hamid et al., 2017**), le sexe, la saison, l'âge, la race (**Mbassa et Poulsen, 1991 ; Azab et Abdel-Maksoud, 1999 ; Anwar et al., 2012 ; Amer., 2014 ; Jarczak et al., 2015 ; Abd El-Hamid et al., 2017**) et les périodes physiologiques de la reproduction (**Azab et Abdel-Maksoud, 1999 ; Iriadam, 2007 ; Sadjadian et al., 2013**).

L'accouplement, la gestation, la mise-bas et la période néonatale peuvent tous modifier respectivement le métabolisme de la progéniture d'un petit ruminant et de sa mère (**Piccione et al., 2011 ; Zumbo et al., 2011**). Étant donné que tous les processus métaboliques changent au cours de ces phases physiologiques pour répondre aux besoins du fœtus, du placenta et de l'utérus ainsi que pour réguler la production de lait, les changements spécifiques qui se produisent pendant la gestation et l'allaitement sont cruciaux dans la pratique clinique.

Les ruminants sont le plus souvent soumis à de graves carences en oligo-éléments. On pense que l'infertilité et l'anœstrus concomitants chez les ruminants sont associés à des dysfonctionnements enzymatiques résultant de ces carences (**Eyidoğan et al., 2009 ; Hafez, 2019**). Ainsi, les besoins en minéraux ont fait l'objet d'une grande attention, car tout excès ou carence d'un élément interfère avec l'utilisation d'un autre, nuisant à la productivité et même à la survie (**Ribeiro et al., 2018**). De plus, la supplémentation en oligo-éléments peut affecter directement la fertilité en modifiant le statut systémique des oligo-éléments et la biologie cellulaire des organes reproducteurs, des gamètes et du développement de l'embryon et du placenta (**Mion et al., 2023**).

Une source intéressante de ces oligo-éléments est *Moringa oleifera*, une plante très nutritive connue pour ses bienfaits exceptionnels. Souvent appelée « arbre miracle », la MO est une plante à feuilles persistantes résistante à la sécheresse et à croissance rapide qui fournit une riche gamme de vitamines, de minéraux, de protéines, de flavonoïdes et d'acides phénoliques (**Khalid Abbas et al., 2018 ; Kou et al., 2018 ; Saleem et al., 2020**). MO est unique dans sa capacité à offrir ces composés bénéfiques en quantités substantielles, ce qui en fait un complément idéal pour les animaux en gestation et en lactation (**Kou et al., 2018**).

Cette étude vise principalement à actualiser les notions sur les performances de reproduction chez les petits ruminants en Algérie, à évaluer et à surveiller l'impact de certains taux de minéraux plasmatiques pendant la période d'accouplement, pendant la gestation et en post-partum. De cette manière, nous avons décidé de réaliser, à travers cette étude, les objectifs suivants :

- Présentation des informations concernant le bétail ovin et caprin en Algérie.
- Comparer les niveaux des minéraux dans le plasma des chèvres de race exotique (Alpine et Saanen) et locale (Arbia) pendant toutes les étapes cruciales du processus de reproduction.
- Déterminer l'impact de la parité sur la composition minérale.
- Analyser la teneur en minéraux dans le plasma des brebis de race Rembi et Ouled Djelal pendant les phases du cycle reproductif.
- Évaluer les performances de la reproduction des animaux des élevages visités.
- Apprécier les variations du profil minéral des brebis avant et après une supplémentation avec des quantités variables de *Moringa oleifera*, ainsi qu'après une alimentation à base de pâturage pendant le dernier mois de gestation, afin d'évaluer leur impact sur le poids à la naissance des agneaux.
- Étudier le profil minéral des béliers et des boucs de différentes races pendant la période de lutte.

Revue
Bibliographique

Chapitre I

**RAPPELS SUR LA REPRODUCTION
CHEZ LES PETITS RUMINANTS**

Chapitre I : RAPPELS SUR LA REPRODUCTION CHEZ LES PETITS RUMINANTS

I.1 Anatomie et physiologie de l'appareil génital mâle

I.1.1 Anatomie des organes reproducteurs du bélier et du bouc

Des similarités anatomiques existent entre les organes reproducteurs du bélier et du bouc, même si certaines spécificités morphologiques sont présentes (Boukhlif et al., 2017). L'appareil génital de ces espèces se compose de trois parties avec des fonctions différentes (Barone, 2001): une partie glandulaire représentée par les deux gonades ou testicules assurant l'élaboration des spermatozoïdes et la sécrétion des hormones sexuelles mâles telle que la testostérone ; des glandes annexes (vésicules séminales, prostate et glandes de Cowper) qui jouent un rôle dans la maturation des spermatozoïdes et des voies spermatiques (épididyme, canaux déférents, urètre et pénis) responsables du transport du sperme et de son dépôt dans les voies génitales femelles (Bonnes et al., 1988) (figures 1 et 2).

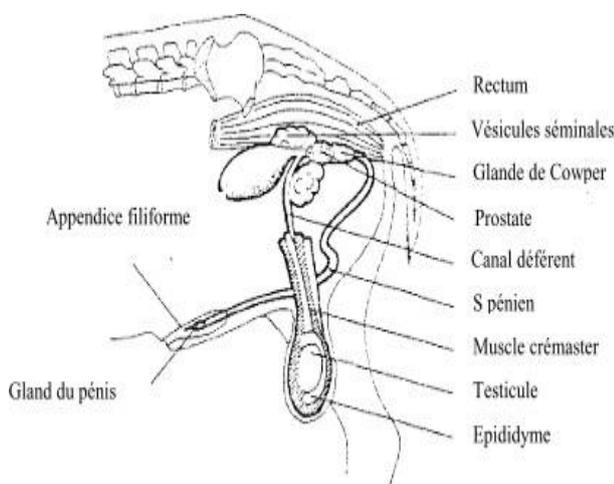


Figure 1 : Anatomie de l'appareil génital du bouc (Corcy, 1991).

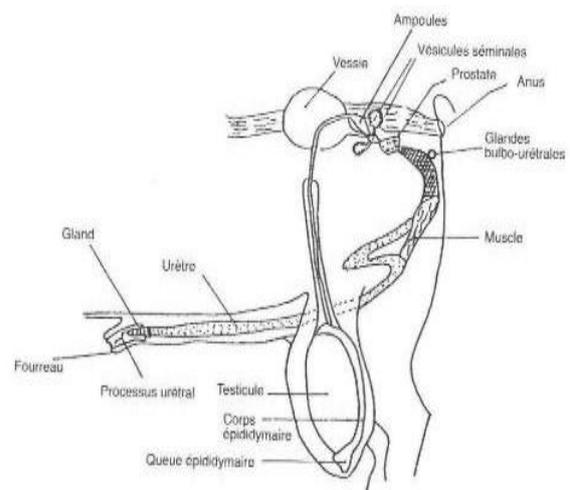


Figure 2 : Anatomie de l'appareil génital du bélier (Baril et al., 1993).

I.1.1.1 Les testicules

Les testicules sont les gonades mâles qui assurent la production des spermatozoïdes (spermatogenèse) et synthétisent la testostérone, principale hormone sexuelle chez le mâle. La descente et la migration des testicules dans le canal inguinal commencent très tôt chez les béliers et les boucs, du 100^e au 105^e jour de la vie fœtale. Le processus de migration est terminé avant le cinquième mois de gestation (**Tibary et al., 2018**).

Chez le bélier et le bouc, les testicules sont situés côte à côte au-dessous de l'anneau inguinal en partie libre. Ils sont attachés au corps par le cordon spermatique, qui comprend les vaisseaux sanguins, les nerfs et le canal déférent (**Christian, 2009**). Le cordon spermatique entre dans la cavité abdominale à travers le canal inguinal. Dans les deux espèces, le long axe du testicule est vertical ; la tête de l'épididyme est dorsale tandis que le corps de l'épididyme est en position médiale (**Ortavant et al., 1988 ; Tibary et al., 1988**). Les testicules du bélier et du bouc sont ovales et allongés, ils sont enveloppés par des bourses formant une masse partiellement bilobée (**Montané et al., 1978**). La conformation de base du testicule de ces espèces montre deux surfaces latérales et médiales lisses, un bord libre convexe antérieur (margo liber), un bord épидидymaire (margo epidymidis) qui est moins convexe et situé devant la partie caudale (**Barone, 1978**).

I.1.1.2 Les voies spermatiques

Le tractus séminal comprend l'épididyme, le canal déférent, l'urètre et les glandes accessoires. L'épididyme est situé derrière les testicules. Son rôle principal est d'assurer le stockage et la maturation des spermatozoïdes. Sa tête reçoit le canal déférent du réticulum et continue à travers le canal déférent. Ce dernier traverse le canal inguinal au sein du cordon spermatique pour atteindre la partie pelvienne de l'urètre, où il débouche par un canal éjaculateur commun avec la vésicule séminale correspondante (**Boukhliq et al., 2017**). Le canal déférent des béliers et des boucs mesure environ 6 à 7 cm de long et 6 à 7 mm de large (**Barone, 1978**). L'urètre pelvien reçoit l'orifice éjaculateur et les canaux excréteurs des glandes accessoires, tandis que la partie extra-pelvienne est insérée dans le pénis. Chez les béliers et les boucs le pénis est fibreux et possède peu de tissu érectile. Il mesure environ 40 cm de longueur. Ses racines sont épaisses en raison du fort développement des muscles ischio-caverneux et tubo-spongieux. Le gland est particulièrement massif, présentant une grande extension à la base, c'est-à-dire le canal urétral. Il est plus long chez les béliers (4 cm) que chez les boucs (2,5 cm) (**Hafez et al., 2013**).

I .1.1.3 Les glandes annexes

Les glandes annexes incluent les vésicules séminales (ou glandes vésiculaires), la partie disséminée de la prostate et les glandes bulbo-urétrales (**Thibault et al., 2001**). Elles sont chargées de l'élaboration du liquide séminal, qui assure la dilution, la nutrition et permet les mouvements des spermatozoïdes. Le mélange du plasma séminal avec les spermatozoïdes constitue le sperme dans l'urètre (**Setchell, 1991**).

a. Les vésicules séminales

Les vésicules séminales correspondent à une paire de glandes lobulaires compactes qui sont facilement identifiées en raison de leur apparence lobulée chez le bélier et le bouc (**Giffin et al., 2017**), situées de part et d'autre de l'urètre intra-pelvien et à côté de la partie terminale des canaux déférents. Le conduit des vésicules séminales et le ductus deferens partagent un conduit éjaculatoire commun qui débouche dans l'urètre intra-pelvien. Leur longueur est de 3 à 4cm et leur largeur est de 2 cm (**Barone, 1978**). Ces deux glandes produisent à elles seules 60 % du liquide séminal.

b. La prostate

C'est une glande unique bilobée se situe sur le col de la vessie et entourant l'urètre pelvien. Sa partie conglomérée est absente chez le bélier et le bouc, seule la partie disséminée existe (**Barone, 2001**). Elle est, chez le bouc, peu volumineuse, elle entoure entièrement l'urètre intra-pelvien alors que chez le mouton elle ne s'étend pas jusqu'à sa partie ventrale (**Cuq, 1973 ; Drion et al., 1993**). Le liquide prostatique est riche en acides aminés et en enzymes (phosphatases acides). Il permet le nettoyage de l'urètre avant et pendant l'éjaculation. Il fournit des minéraux au sperme, cette activité est sous la dépendance d'androgènes (**Banerjee et al., 2018**).

c. Les glandes bulbo-urétrales

Appelées aussi glandes de Cowper, sont deux masses compactes, rondes ou ovales, mesurant approximativement 1cm de diamètre chez le mouton et le bouc. Ces glandes siègent dorsalement, au-dessus de l'urètre intra-pelvien juste en avant de l'arcade ischiatique (**Barone, 1978 ; Mahmud et al., 2016**). Le rôle majeur de ces glandes est de produire un plasma séminal qui apporte de l'énergie aux Spz qui permet la dilution des gamètes afin d'activer leur mobilité progressive, d'assurer leur transfert dans le tractus génital femelle et de maintenir leur pouvoir fécondant. (**Dacheux et Dacheux, 2001**).

I.1.2 Physiologie de la reproduction du bélier et du bouc

I.1.2.1 La spermatogénèse

La spermatogénèse est un processus dynamique qui commence à la puberté (**Graham, 1981**). Elle regroupe l'ensemble des divisions mitotique et méiotique et des différenciations des spermatogonies de souches qui aboutissent à la production des spermatozoïdes (**Kretser et al., 1998 ; Russell et al., 1993**). Elle se déroule dans la lumière du tube séminifère en trois phases (**figure 3**) :

- **Spermatocytogenèse** : phénomène durant lequel les spermatogonies se divisent par mitose plusieurs fois et donnent finalement des spermatocytes primaires ;
- **Méiose** : la division de maturation des spermatocytes qui donne des spermatides avec un nombre réduit de chromosomes (haploïde) ;
- **Spermiogenèse** : phénomène de transformation des spermatides en spermatozoïdes.

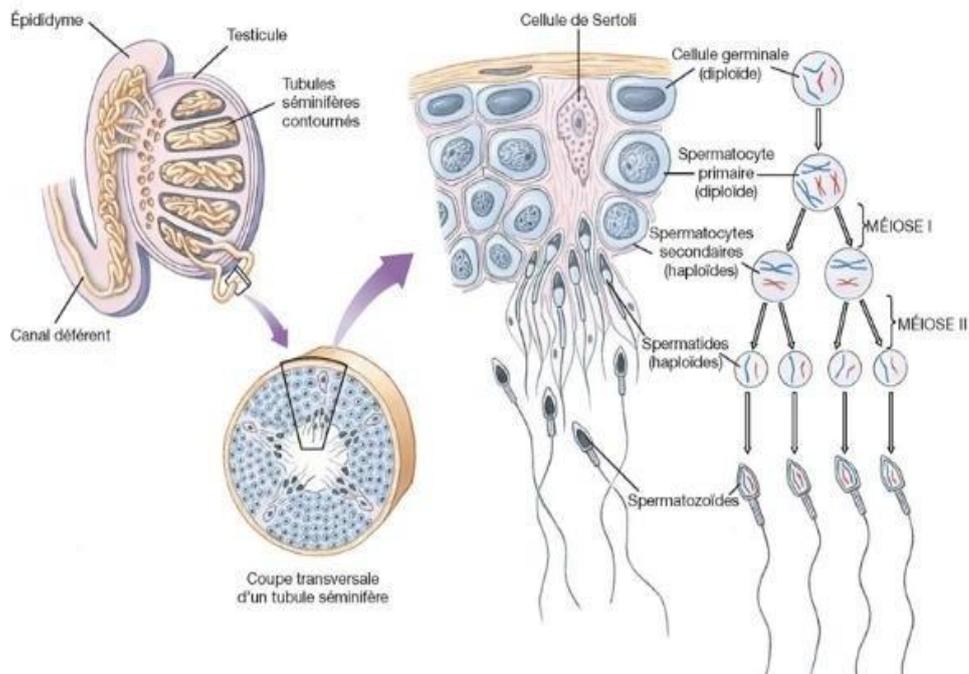


Figure 3 : Schéma explicatif de la spermatogénèse
(de boeck université, 2007).

I.1.2.2 Régulation hormonale de la spermatogénèse

La sécrétion de testostérone, le déclenchement et le maintien de la spermatogénèse sont stimulés par deux gonadostimulines hypophysaires, FSH et LH. La GnRH, sécrétée par des neurones hypothalamiques de manière pulsatile, stimule elle-même la sécrétion des hormones FSH et LH (Holdcraft et al., 2004 ; Ramaswamy et al., 2014) (figure 4).

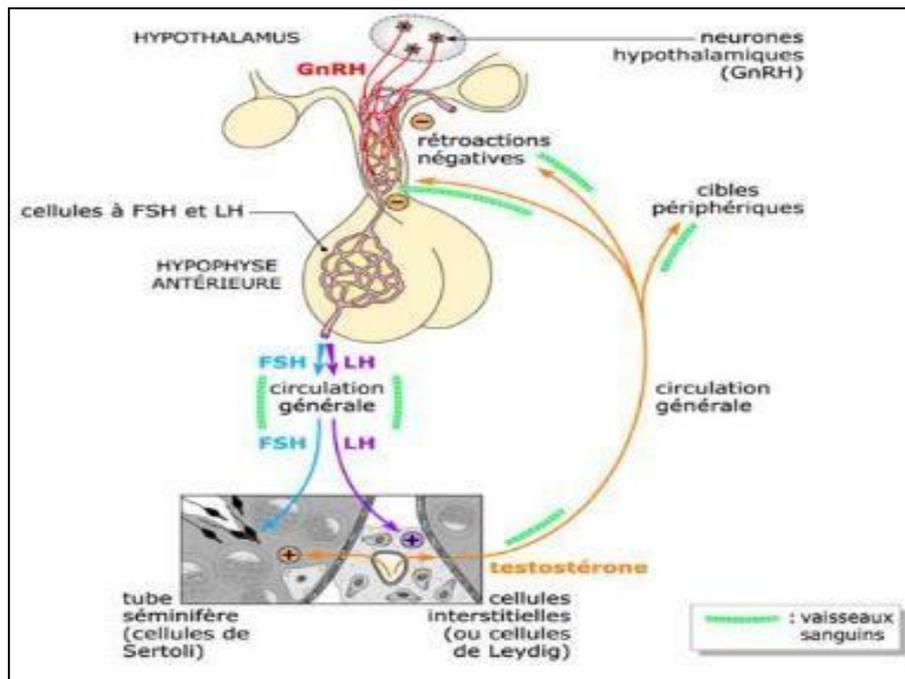


Figure 4 : Principe de la régulation physiologique de l'axe gonadotrope mâle (Aggoun, 2019).

L'hypothalamus est un centre nerveux qui relie le système reproducteur et l'environnement. La rétroaction négative de la testostérone sur l'axe hypothalamo-hypophysaire maintient les niveaux de cette hormone pratiquement constants. Par conséquent, l'activité de ce complexe est réduite, ce qui diminue la génération de gonadostimuline et donc de testostérone. En revanche, lorsque le taux de testostérone diminue, la production de gonadostimuline augmente. Alors que, les variations du taux de testostérone sont relativement faibles. En outre, l'hormone mâle est essentielle à la spermatogenèse, à la préservation des caractères sexuels secondaires et au bon fonctionnement de l'appareil génital grâce à son action sur les cibles périphériques (Badi, 2020).

I.2 Anatomie et physiologie de l'appareil génital femelle

I.2.1 Anatomie des organes reproducteurs de la brebis et de la chèvre

L'appareil génital de la brebis et la chèvre est situé dans la partie caudale de la cavité abdominale. Son anatomie ressemble étrangement à celle de la vache. Il se compose de quatre composantes principales : les ovaires, l'utérus, le vagin et la vulve (**Barone, 2010**) (**figure 5**). Les dimensions du système reproducteur d'une femelle varient d'une brebis à l'autre selon l'âge, la taille et la race. Il mesure environ 40 cm chez la chèvre et la brebis adulte (**Corcy, 1991**). La fonction principale de l'appareil génital femelle réside dans la production des gamètes appelés ovocytes. Il est aussi le lieu de dépôt de la semence, le lieu de la fécondation, puis le site de la gestation. Enfin, il assure l'expulsion des foetus (**Barone, 2010 ; Lyngset, 1968**).

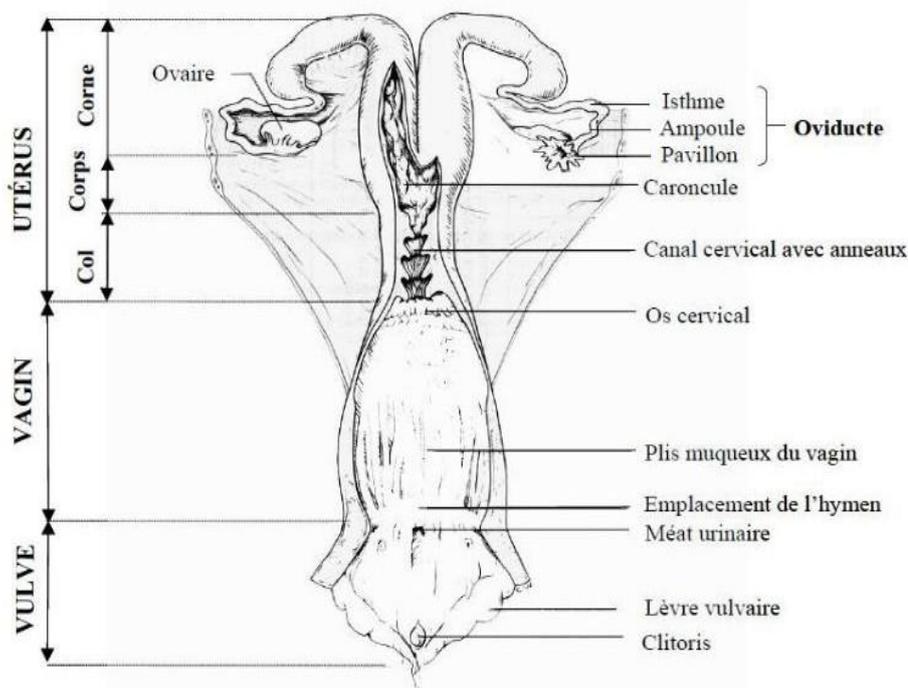


Figure 5 : L'appareil reproducteur femelle (**Barone, 2010**).

I.2.1.1 Les ovaires

La glande génitale femelle ou l'ovaire, organe pair situés très près du détroit crânial du bassin, légèrement crânialement et médialement à la branche montante de l'ilium. De consistance ferme, et généralement de forme ovoïde. Les dimensions varient de 15 à 20 mm pour la longueur et de 10 à 15 mm pour la largeur. Le poids moyen est de 2 grammes, mais cela peut être très variable (**Barone, 2001**). Elles assurent une double fonction : la première exocrine assurant la maturation et l'émission cyclique du gamète femelle ou ovocyte, et la deuxième endocrine permettant l'imprégnation hormonale de l'appareil reproducteur, état indispensable à la fécondation de l'ovocyte et à l'implantation du zygote (**Vaissaire et al., 1977**). L'ovaire est fait, sous un revêtement de structure peu variable, d'un support conjonctif ou stroma contenant les autres constituants qui se répartissent en deux zones : l'une centrale ou médullaire et l'autre périphérique ou cortical (**Barone, 1978**).

I.2.1.2 Les oviductes ou trompes utérines

Le salpinx ou trompe utérine est la partie primitive des voies génitales de la femelle. Ce dernier est un conduit flexible, pair et étroit, ouvert sur la cavité abdominale et recouvre partiellement l'ovaire. Chaque oviducte est constitué de trois sections : le pavillon ou infundibulum qui reçoit les ovocytes libérés par l'ovaire. Ensuite les ovocytes migrent vers l'ampoule, le lieu de la fécondation. L'isthme qui, faisant la jonction avec l'utérus, participe à la remontée des spermatozoïdes vers l'ampoule pendant la phase ovulatoire (**Barone, 1978 ; Bonnes et al., 1988**).

I.2.1.3 L'utérus

L'utérus, appelé aussi l'organe de la gestation, c'est un organe creux de couleur jaune rosée parfois rougeâtre. Son poids, sa consistance et ses dimensions varient en fonction de l'état physiologique de la femelle (**Soltner, 1993**). Il se divise en trois entités :

a. Les cornes utérines

Les cornes utérines font suite aux oviductes, s'incurvent crânialement en hélice et elles se terminent de façon effilée et flexueuse donnant un aspect de cône enroulé en spirale. Leur diamètre diminue progressivement en direction des trompes utérines et leur longueur varie selon la race et les individus, de 12 à 29 cm. La base des deux cornes est unie par du tissu conjonctif, le ligament intercornual. Elles reçoivent les ovocytes après leur passage dans l'oviducte et elles abritent le développement des fœtus pendant la gestation (**Dyce et al., 2002**).

b. Le corps utérin

Le corps de l'utérus est un court cylindre, d'une longueur de 0,5 à 3,5 cm. Sa taille est variable avec la parité de la femelle. La muqueuse utérine lisse et luisante est souvent recouverte de mucus. Elle présente en saillie des caroncules pédiculées (50 par corne en moyenne) (**Lyngset, 1968**).

c. Le col utérin

Le col de l'utérus ou cervix est facilement identifiable du reste de l'utérus par sa consistance dure et fibreuse. Sa longueur varie de 3 à 5 cm. La lumière du col est complètement fermée en dehors de l'œstrus par des plis circulaires (5 à 8 plis) et longitudinaux (25 à 30 plis), ce qui occasionnera, des difficultés pour son franchissement lors de l'insémination (**Marquis, 1999**).

I.2.1.4 Le vagin

Le vagin constitue l'organe copulateur de la femelle. Il est cylindroïde, délimité crânialement par le col de l'utérus et caudalement par l'orifice de l'urètre et les vestiges de l'hymen. Il est impair et aplati dans le sens dorso-ventral (**Lyngset, 1968**). Lorsqu'une brebis ou une chèvre est en chaleur, le vagin contient un fluide plus ou moins visqueux, sécrété par le col de l'utérus, et sa muqueuse prend une coloration rougeâtre, causée par l'augmentation de l'irrigation sanguine (**Baril et al., 1993**).

I.2.1.5 La vulve

La partie extérieure des organes génitaux féminins, appelée vulve, s'ouvre au niveau du périnée. Elle est constituée de deux lèvres qui se rejoignent au niveau des commissures ventrale et dorsale. Le clitoris, très court, est un équivalent rudimentaire du pénis. Il est situé dans la région inférieure et forme une courte pointe, la fosse clitoridienne est représentée par un sillon qui entoure la base de la pointe (Vaissaire et al., 1977).

I.2.2 Physiologie de la reproduction de la brebis et de la chèvre

I.2.2.1 La puberté des agnelles et des chevrettes

La puberté est définie par le stade de développement où les organes génitaux deviennent fonctionnels et correspond à l'observation du premier comportement œstral de la jeune femelle. L'âge de la puberté varie selon la saison de naissance mais aussi la race, la nutrition et l'état de santé (Jainudeen et al., 2000). Chez les petits ruminants, la puberté est atteinte pour 40-60 % du poids adulte vers 6 mois (entre 4 et 9 mois). Chez la brebis, la puberté est généralement atteinte vers 6-9 mois tandis que chez la chèvre, la puberté est atteinte vers 5-7 mois (Christian, 2009). La saison de naissance influence aussi l'âge de la puberté chez les agnelles. Les agneaux nés en hiver ou au printemps atteignent généralement la puberté à un plus jeune âge que ceux nés en automne (Abecia et al., 2016).

I.2.2.2 L'ovogénèse

L'ovogénèse (du latin ovum et genesis, désignant la genèse de l'œuf) correspond à la gamétogenèse femelle. C'est un processus biologique de développement long et discontinu aboutissant après la puberté à la formation d'un gamète femelle mature apte à donner par fécondation la cellule œuf. Chez le mammifère femelle, elle se déroule en grande partie au niveau des ovaires (Monniaux et al., 2009 ; Vincent, 2023). Elle se déroule en trois phases (Hammoudi, 2011) (figure 6).

a. Phase de multiplication

La phase de multiplication correspond à la transformation des gonocytes en ovogonies. La méiose se produit spontanément ou sous l'influence probable d'un facteur mésonephrotique connu sous le nom de MIS (Meiosis Inducing Substance).

Les ovocytes du premier ordre qui en découlent sont restés bloqués pendant la prophase par un autre facteur provenant des cellules granuleuses appelé OMI (Inhibiteur de maturation des ovocytes).

b. Phase de croissance

Pendant la phase de croissance, l'ovocyte bloqué en prophase commence à augmenter en taille.

c. Phase de maturation

La maturation ovocytaire se produit lorsque la première division de la méiose (division réductionnelle) est terminée, ce qui entraîne l'expulsion de l'ovocyte de deuxième ordre et du premier globule polaire (cellules à n chromosomes). La deuxième division de la méiose (division équationnelle) est immédiatement initiée par l'ovocyte du deuxième ordre, qui reste bloquée au stade de la métaphase.

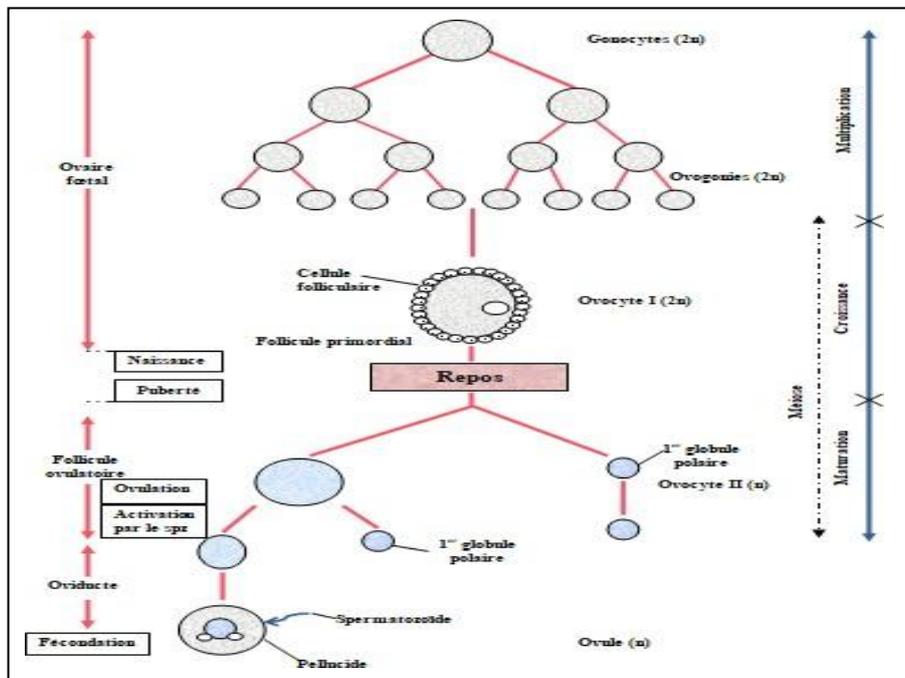


Figure 6 : les différentes phases de l’ovogenèse (Bonnes et al., 1988).

I.2.2.2 Le cycle œstral

Le cycle œstral se définit par l'intervalle entre deux chaleurs consécutives, où l'ensemble des changements morphologiques et physiologiques des ovaires et du tractus génital menant à l'expression du comportement d'œstrus, puis à l'ovulation, à la préparation de la fécondation et à l'implantation de l'embryon (Fatet et al., 2008). La durée du cycle chez la chèvre est en moyenne 21 jours et plus généralement, entre 18 et 22 jours, sa durée est inférieure chez la brebis (17 jours). La variabilité de la durée du cycle dépend surtout de la variabilité de la durée de la phase folliculaire (François, 2017 ; Gayrard, 2018). Le cycle œstral est ainsi divisé en deux phases (Drion et al., 1993 ; Monniaux et al., 2009) :

- **Une phase folliculaire** : qui correspond à la période qui s'étend de la fin de la croissance folliculaire à l'ovulation, regroupe 2 phases :
 - **Le pro-œstrus** : c'est la période préparatoire aux chaleurs.
 - **L'œstrus** : les chaleurs durent de 24 à 72 heures, pour une moyenne de 36 heures. C'est la période d'acceptation du mâle.
- **Une phase lutéale** : qui débute après l'ovulation, qui correspond à la libération des ovules contenus dans les follicules matures, se produit entre 20 et 40 h après le début des chaleurs et s'achève avec la régression du ou des corps jaunes, regroupe 2 phases :
 - **Le met-œstrus** : installation du corps jaune et d'un état pré-gravidique de l'utérus.
 - **Le di-œstrus** : phase d'activité du corps jaune.

I.2.2.2.1 Régulation hormonale du cycle œstral

Chez les petits ruminants, la succession des évènements physiologiques de la reproduction dépend d'interactions entre plusieurs hormones (GnRH, LH, FSH) sécrétées par un axe de régulation appelé axe gonadotrope ou axe hypothalamo-hypophyso-gonadique et par les ovaires (œstradiol) (Balasse et al., 2017 ; François, 2017) (figure 7).

La GnRH, également connue sous le nom de gonado-libérine, joue un rôle essentiel dans le contrôle de la fonction de reproduction. La GnRH est libérée de manière pulsatile par les neurones à GnRH dans le sang porte hypophysaire (correspondant à l'hypothalamus et à l'hypophyse). De cette manière, la GnRH stimule les cellules gonadotropes au niveau hypophysaire, qui sécrètent ensuite deux hormones, à savoir les gonadotropines FSH (Follicule Stimulating Hormone) et LH (Luteinising Hormone) (Mazerbourg et al., 2003). En fin de compte, ces hormones stimulent les gonades femelles (ovaires) qui génèrent les gamètes (ovules), ainsi que les hormones gonadiques, telles que les stéroïdes sexuels (oestradiol, progestérone), qui pénètrent dans la circulation sanguine générale (Thimonier et al., 1969 ; Bruder, 2018).

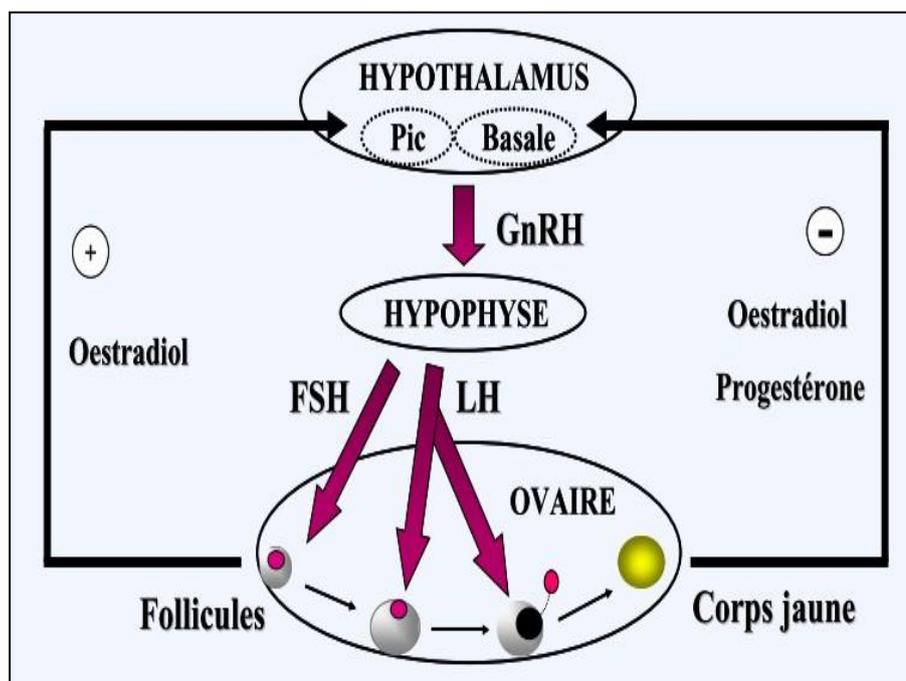


Figure 7 : Régulation hormonale du cycle sexuel femelle (François, 2017).

I.2.2.3 La reproduction saisonnière

Chez les petits ruminants tels que les ovins et les caprins, la saison de reproduction est déterminée par la photopériode, et plus précisément par la durée d'exposition à la lumière du jour (Aurore, 2014 ; Tensaba et al., 2022). En phase d'obscurité, la rétine ne reçoit aucune lumière et cette information est convertie en message hormonal par la glande pinéale qui sécrète de la mélatonine. Cette hormone est détectée par les récepteurs à la mélatonine MT1 et MT2 situés sur l'hypothalamus, provoquant la sécrétion de GnRH (Hormone de libération des gonadotrophines hypophysaires). La GnRH stimule la production de LH (Hormone Lutéinisante) et FSH (Hormone Folliculo-Stimulante) par l'hypophyse (figure 8). Ces deux hormones induisent respectivement l'ovulation et le développement folliculaire et sont indispensables au fonctionnement du cycle ovarien. Les jours courts sont, par conséquent, stimulateurs de la fonction reproductrice chez les ovins et les caprins (Paul, 2006).

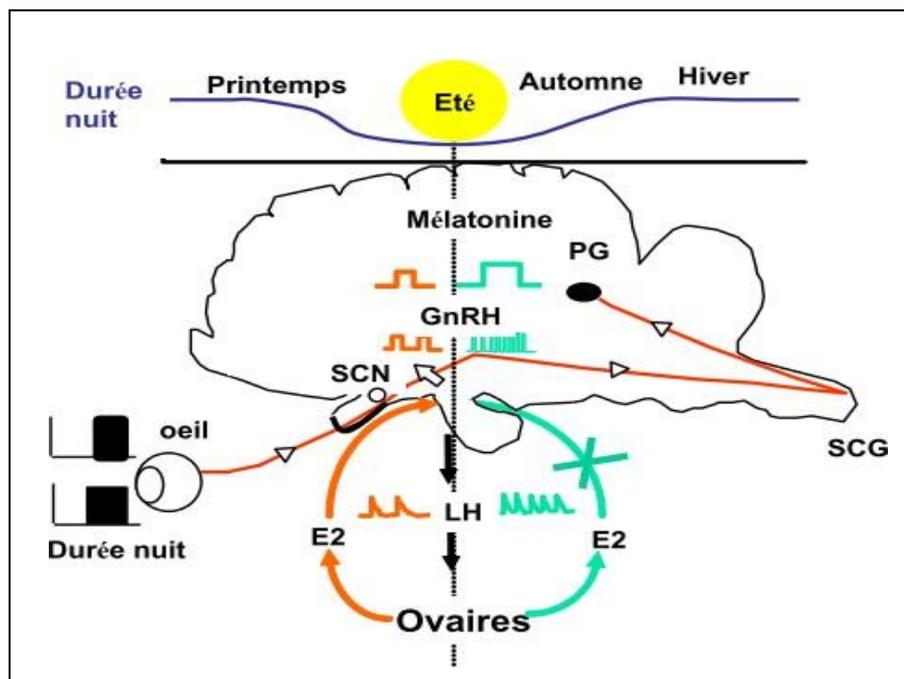


Figure 8 : Le contrôle neuroendocrinien de la reproduction saisonnière chez les petits ruminants (Gayrard, 2018).

Le traitement de femelles avec un protocole lumineux de désaisonnement (avec ou sans mélatonine) peut faciliter l'expression de l'œstrus et l'ovulation, avancer l'ovulation, favoriser l'installation d'une cyclicité et/ou améliorer la fertilité (**Pellicer-Rubi et al., 2019**).

I.2.2.4 La gestation

Une fois l'ovule est fécondé, l'établissement et le maintien d'une gestation sont rendus possibles grâce aux interactions entre le fœtus, l'utérus et le corps jaune ovarien qui préviennent la régression structurale et fonctionnelle du corps jaune (**Zarrouk et al., 2001**).

Chez les brebis et les chèvres, la durée de la gestation est de 5 mois : de 145 à 157 j (**Christian, 2009**). Les embryons, avant leur implantation définitive dans l'utérus, peuvent migrer d'une corne utérine à l'autre où il demeure libre pour un certain temps. L'attachement physique de l'embryon à l'utérus, ou implantation, se produit vers 15 jours suivant la fécondation (10-20 jours). Entre 30 et 90 jours de gestation, les membranes qui entourent le fœtus se développent et s'unissent à la paroi utérine pour constituer le placenta (union des composantes maternelles et fœtales), qui est responsable des échanges nutritionnels entre la mère et le fœtus (**François, 2017**).

I.2.2.4.1 Régulation hormonale de la gestation

La progestérone produite par les cellules lutéales du corps jaune en phase lutéale et en début de gestation a des effets physiologiques opposés à ceux des œstrogènes. Cette hormone modifie le comportement vers un refus du mâle. La vulve et le vagin restent secs et visqueux, se resserrent et deviennent de plus en plus gris. Le col se ferme et l'utérus devient tonique. De ce fait, la présence de progestérone renseigne l'hypophyse sur la présence d'un corps jaune sur l'ovaire pour préparer l'endomètre à l'implantation et au maintien d'une gestation. De plus, elle exerce un rétrocontrôle négatif sur la sécrétion de LH (**Abecia et al., 2016 ; Jainudeen et al., 2000**).

Le placenta sécrète les œstrogènes surtout pendant les deux derniers tiers de la gestation. Il sécrète également une hormone qui appartient à la famille de la prolactine : c'est l'hormone lactogène placentaire (**Hammoudi, 2011**).

Chapitre II

**LE METABOLISME MINERAL ET SON EFFET
SUR LA REPRODUCTION CHEZ LES PETITS
RUMINANTS**

Chapitre II : LE METABOLISME MINERAL ET SON EFFET SUR LA REPRODUCTION CHEZ LES PETITS RUMINANTS

Tous les systèmes vivants ont besoin de composés inorganiques et des minéraux pour les processus normaux de maintien de la vie. Le terme « élément minéral essentiel » est limité à un élément minéral qui a été prouvé qu'il a un rôle métabolique dans le corps (**Haroon et al., 2022**). En outre, tous les tissus animaux et tous les aliments contiennent des éléments minéraux en quantités et en proportions très variables (**McDowell, 2003**). Ils sont classés en deux groupes ; éléments minéraux majeurs et oligo-éléments (**Meschy, 2023**). Cette classification des minéraux en éléments majeurs et éléments traces dépend de leur concentration dans l'animal ou dans les quantités requises par l'alimentation (**McDonald et al., 2010**).

Les minéraux assurent des fonctions variées au sein de l'organisme ; ils contribuent à la structure des différents tissus (squelette, muscles, architecture cellulaire), interviennent dans le maintien des grands équilibres biologiques (acido-basique et osmotique en particulier), exercent un rôle catalytique dans les systèmes enzymatiques et hormonaux et régulent la réplication et la différenciation cellulaire (**Meschy, 2007**).

Le rôle des minéraux et des oligo-éléments dans la reproduction est incontestable ; ce sont des acteurs clés de l'activité sexuelle des ruminants (**Huang et al., 2022**). Les oligo-éléments sont des intermédiaires nécessaires à la fonction ovarienne, à la maturation de l'ovocyte et au maintien du nombre de follicules stockés dans leur plage normale grâce à leur rôle inévitable dans la sécrétion des gonadotrophines (**Derar et al., 2022**). Pour la reproduction des mâles et des femelles chez diverses espèces animales, les oligo-éléments sont cruciaux pour la spermatogenèse et la folliculogenèse (**Parmar et al., 2015 ; Hafez, 2019**).

La déficience, l'excès ou la malabsorption des minéraux peuvent causer des maladies de la mère telles, les maladies métaboliques. Durant la gestation, la mère et son fœtus sont très sensibles aux apports alimentaires déséquilibrés en minéraux, à cause de la croissance fœtale rapide (**Hefnawy et al., 2011**). Les femelles déficientes en minéraux ont des faibles quantités ainsi qu'une mauvaise qualité du colostrum, leurs petits ont un faible poids à la naissance, un faible réflexe de succion, un risque important à l'hypothermie et à des autres maladies néonatales (**Dar et al., 2014**).

II.1 Les macroéléments

Les éléments minéraux majeurs, appelés aussi macroéléments, ils sont présents dans l'organisme en quantités relativement importantes et représentent plus de 80% des éléments minéraux de l'organisme animal ; leurs apports alimentaires s'expriment en g/kg de MS de la ration. Cette catégorie regroupe les éléments suivants : Calcium (Ca), Phosphore (P), Magnésium (Mg), Potassium (K), Sodium (Na) et Chlore (Cl) (Meschy, 2007 ; McDonald et al., 2010).

II.1.1 Calcium

Le calcium est le minéral le plus abondants dans le corps de l'animal (Martinez et al., 2014). Il se trouve dans le plasma soit sous sa forme ionisée, qui est la forme biologiquement active, représentant entre 42 et 48% du calcium total, soit liée à des protéines telles que l'albumine, ce qui représente 50% du calcium total. La majorité du calcium de l'organisme est localisé dans la partie minérale des os (99%) et le Ca qui reste (0.9%) est séquestré dans la membrane plasmique et le réticulum endoplasmique des cellules (Rosol et al., 1997). Le calcium est un ion extracellulaire (le liquide extracellulaire contient 0.1% du Ca total du corps ; il existe moins de 1 g de Ca dans le cytoplasme des cellules) (Goff, 2014).

Le calcium total sanguin varie entre 94 et 120 mg/l chez les moutons (Klasing et al., 2005), et entre 89 et 117 mg/l chez les chèvres (Chartier, 2018).

II.1.1.1 Métabolisme du calcium

Deux processus distincts sont utilisés par l'organisme pour l'absorption du calcium au niveau de l'intestin grêle : un transport actif trans-cellulaire, saturable et soumis à des régulations nutritionnelles et physiologiques, et une diffusion para-cellulaire qui dépend principalement de la concentration du calcium dans la lumière intestinale (Meschy et al., 1995).

Le Ca est principalement absorbé par la voie trans-cellulaire dans la partie proximale de l'IG (duodénum) (Jean-Blain, 2002). Cette voie d'absorption revêt une importance particulière lorsque l'apport alimentaire est limité ou lorsque la demande tissulaire est élevée (en début de lactation). Tout au long du tractus intestinal, le calcium est absorbé par la voie para-cellulaire en suivant un

mécanisme de simple diffusion, cette diffusion simple augmente lorsque la voie trans-cellulaire est ralentie, et vice versa (**Meschy et al., 1995**).

Chez les ruminants le calcium n'est pas seulement absorbé dans l'intestin grêle, une portion non négligeable peut être déjà absorbé dans le rumen, cette absorption est fortement corrélée à la concentration de Ca^{2+} dans le milieu : elle est négative pour des valeurs inférieures à 1mmol/L et devient significative entre 1 et 4mmol/L (**Meschy, 2010**).

Le calcium est éliminé par l'urine et les fèces chez les ruminants. La principale voie d'élimination du calcium est la fécale (**Meschy, 2010**). Le calcium fécal provient principalement de l'alimentation (Ca non absorbé), mais il peut également provenir d'une source endogène, résultant à la fois du renouvellement de la muqueuse intestinale et de la sécrétion digestive, notamment des sels biliaires pour le Ca (**Meschy et al., 1995**). La réabsorption rénale entraîne une élimination urinaire limitée du Ca (**Ammerman et al., 1981**).

II.1.1.2 Rôles biologiques du calcium

II.1.1.2.1 Rôles au sein de l'organisme

Le minéral le plus présent dans l'organisme est le Ca, qui joue un rôle essentiel dans la construction du squelette. Ce squelette, en plus de fournir un soutien aux muscles et de protéger les organes et les tissus, joue également un rôle crucial en tant que réserve de minéraux (**Meschy et al., 1995**).

Le calcium extra-osseux malgré sa faible proportion, a plusieurs fonctions essentielles au sein de l'organisme animal : le calcium joue un rôle important en tant que messenger intracellulaire ; contribuant à la transmission neuromusculaire ; intervient à la contraction musculaire et cardiaque ; participe à la coagulation du sang car il est indispensable pour la transformation de la prothrombine en thrombine active ; participe à la stimulation de la réponse immunitaire ; intervient à la production de lait : intervient à l'intégrité des membranes cellulaires et à la cohésion des systèmes enzymatique (**Ammerman et al., 1981; Jean-Blain, 2002; Meschy, 2010**).

II.1.1.2.2 Rôles dans la reproduction

Le calcium est un minéral important, joue un rôle clé dans la reproduction. Chez le male, il participe à la capacitation des spermatozoïdes, la réaction acrosomique et la spermatogenèse, et affectent la mobilité des spermatozoïdes (**Harchegani et al., 2019 ; Afridi et al., 2022**). En outre, le calcium est associé à la physiologie et à la qualité des spermatozoïdes, ainsi qu'à leur métabolisme (**Azab et al., 2021**); les canaux calciques sont également essentiels lors de la migration du sperme à travers le système reproducteur féminin (**Brown et al., 2019**).

Chez la femelle, le Ca joue un rôle important dans la production d'hormones lipidiques (des œstrogènes) dans les follicules en développement, régulent la sécrétion des hormones de reproduction nécessaires aux ovaires et à l'ovulation (**Satué et al., 2021**). Pendant l'activation de l'ovocyte, le calcium provoque la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) qui redémarrent le cycle cellulaire de l'ovocyte (**Hassan et al., 2018**) et il est impliqué dans les cycles cellulaires méiotiques des ovocytes de mammifères (**Sun et al., 2021**).

Les fluctuations du profil calcique peuvent avoir un impact négatif sur le processus reproducteur. Une teneur insuffisante en calcium peut limiter la capacité de fécondation et d'implantation, tandis qu'une concentration trop élevée de Ca^{2+} peut entraîner une altération du développement embryonnaire (**Giersch et al., 2020**). La carence en calcium influence la sélection des follicules pré-ovulatoires via la voie de signalisation de la protéine kinase A (PKA)/cAMP mitogen-activated kinase (MAPK) ainsi que les hormones gonadotropes (**Chen et al., 2020**). Chez le mâle, Il a été démontré que les carences en calcium influencent les mouvements des flagelles des spermatozoïdes (**Azab et al., 2021**).

II.1.2 Phosphore

Le phosphore est le second minéral le plus abondant dans le corps de l'animal, environ 80% est trouvé dans les os et les dents et l'autre 20% de phosphore est distribué dans les fluides et les tissus mous du corps animal (**Manopriya et al., 2022 ; Zhou et al., 2021**). Le phosphore est relativement abondant dans les tissus mous et les plus riches étant le foie, le cerveau, et les muscles ; il est le principal anion intracellulaire existant sous forme organiques (phospholipides, acides nucléiques, phosphoprotéines, ATP) et inorganique (**Singh et al., 2018**).

Chez les petits ruminants, le phosphore sanguin varie entre 45 et 75 mg/l chez les moutons (**Brunet-Grissolange, 2002**), et entre 40 et 90 mg/l chez les chèvres (**Chartier, 2018**).

II.1.2.1 Métabolisme du phosphore

Le phosphore est principalement absorbé au niveau de l'intestin grêle. Les mécanismes de transport intestinal du phosphore sont évidemment plus complexes chez les ruminants, que chez les monogastriques (**Huber et al., 2002**).

Dans le duodénum et le jéjunum, l'absorption du P s'effectue selon un transport actif (intervention d'un système Co-transport Na⁺ indépendant par interaction de deux ou plusieurs ions de Na⁺ contre une molécule de P inorganique à pH 7,4), la bordure en brosse des entérocytes renferme un système de co-transport permettant simultanément l'entrée de sodium et de phosphore dans les entérocytes (**Jean-Blain, 2002 ; Huber et al., 2002**). Il existe d'autre type de transport du P, c'est le transport passif qui a lieu principalement dans le jéjunum et l'iléon, cette voie d'absorption est liée à la concentration du phosphore dans l'alimentation et dans la lumière intestinale (**Klasing et al., 2005**). Le phosphore chez la brebis, est moins absorbé que chez la chèvre (**Nolan, 2007**).

L'absorption pré intestinale du phosphore dépend largement de la concentration en phosphore inorganique dans le rumen, cette absorption se fait par un mécanisme de simple diffusion (**Meschy et al., 1995**).

Chez les ruminants, les glandes salivaires sont le principal site de sécrétion du phosphore inorganique endogène (Pi) dans le tractus gastro-intestinal (GIT). Le Pi salivaire a deux fonctions principales : agir comme tampon dans le rumen ; fournir le P adéquat aux microbes du rumen. Les sécrétions salivaires de P constituent environ 80 % du P endogène recyclé dans le tractus gastro-intestinal (le reste provient principalement de la bile), en fonction de l'apport de matière sèche (DMI), généralement combiné à l'apport de P, et de la teneur en fibres du régime alimentaire (**Singh et al., 2018**).

L'excrétion de phosphore chez les ruminants se fait principalement par les fèces (**Iqbal et al., 2005**). Cette excrétion fécale du phosphore peut être divisée en trois fractions qui sont (**Pfeffer et al., 2005**) :

- Une partie du phosphore est inévitablement excrétée dans les fèces qu'est indépendante de l'apport du phosphore, elle résulte soit à partir du métabolisme de l'animal ou des microorganismes du tractus digestif.
- Lorsque la quantité de P apportée dépasse celle requise pour les pertes inévitables et les besoins de croissance, de reproduction et de lactation, cette quantité supplémentaire de P est excrétée afin de maintenir l'équilibre.
- Il est possible que la fraction du P présente dans les aliments soit liée à une liaison chimique qui ne peut pas être absorbée. Cette fraction est pratiquement négligeable chez les ruminants en raison de la décomposition microbienne des phytates dans le rumen.

II.1.2.2 Rôles biologiques du phosphore

II.1.2.2.1 Rôles au sein de l'organisme

Le phosphore est l'un des macro-minéraux présents dans chaque cellule de l'organisme et il est utilisé dans plusieurs processus de l'organisme. Il est difficile d'imaginer une fonction physiologique qui n'impliquerait pas directement ou indirectement un composé d'acide phosphorique, c'est pourquoi le P est aujourd'hui largement reconnu comme un minéral principal (**Singh et al., 2018**).

La fonction essentielle du phosphore est la formation et l'entretien de l'os (**Suttle, 2011**), grâce à la résorption osseuse l'os fonctionne aussi comme un important réservoir de phosphore lorsque les exigences en P de l'organisme animal dépassent les apports alimentaires (**Karn, 2001**) ; il est également essentiel pour le transfert de l'information génétique, car le phosphore est un constituant de l'ADN et l'ARN qui sont des éléments essentiels pour la croissance et la différenciation cellulaire ; le P comme un constituant des phospholipides il contribue à la fluidité et l'intégrité de la membrane cellulaire et à la myélinisation des nerfs ; Il intervient aussi dans la glyconéogenèse, transport des acides gras, synthèse des acides aminés et des protéines et l'activité de la pompe d'ions sodium / potassium ; le phosphore joue comme un constituant de l'ATP un rôle universel dans les mécanismes de transferts d'énergie ; le phosphore aide aussi à maintenir l'équilibre acido-basique (**Jean-Blain, 2002**).

II.1.2.2.2 Rôles dans la reproduction

La carence en phosphore (P) influence négativement de nombreuses étapes du processus de reproduction chez les mammifères, de la maturation des gamètes au développement du fœtus (Lipiński et al., 2011).

Une diminution du taux de fertilité, de la consommation d'aliments, de la production de lait, de l'activité ovarienne, de l'irrégularité des cycles œstraux, de l'augmentation du nombre d'ovaires kystiques, du retard de la maturité sexuelle et des faibles taux de conception, ont été signalés lorsque les apports en phosphore sont faibles (Feng et al., 2020 ; Keller et al., 2018 ; Vázquez-Armijo et al., 2011).

Lors d'hypophosphatémie, au début, les chaleurs restent régulières, d'intensité normale mais la fécondation est difficile, peut être par défaut d'ovulation, puis les chaleurs deviennent plus espacées et plus discrètes, ensuite s'installe une anaphrodisie plus ou moins prolongée. Le phosphore a une action sur la sécrétion d'hormone gonadotrope folliculaire ; par conséquent une carence en phosphore agit sur le complexe hypothalamo-hypophysaire en provoquant une suppression de la fonction hypophysaire (Thionoane, 1982).

II.1.3 Magnésium

Magnésium, un métal alcalino-terreux, le deuxième cation intracellulaire le plus répandu dans l'organisme animal (Schaffer et al., 2022).

Il est largement distribué dans les tissus animaux, avec environ 70% Mg total qui existe dans le squelette. Le reste du Mg étant contenu dans les cellules (29%) et dans le liquide extracellulaire (1%), y compris le liquide cérébro-spinal et le sang, à la différence du calcium qui existe dans le plasma et les érythrocytes (France et al., 2006).

Le magnésium intracellulaire existe sous une forme libre ionisée (1%) qu'est facilement interchangeable et une forme liée (99%) où le Mg est généralement lié avec de l'ATP, des apoenzymes protéines, et des protéines essentiellement l'albumine et la globuline (Rosol et al., 1997).

La magnésémie normale chez la plupart des espèces domestiques oscille entre 18-25 mg/l (1.5-2 mEq/l) (Jean-Blain, 2002).

II.1.3.1 Métabolisme du magnésium

Le magnésium est quasiment absorbé au niveau ruminal, cette absorption se fait par deux mécanismes ; un transport actif contre un gradient électrochimique à travers la muqueuse ruminale et un transport passif qui se fait quand l'apport alimentaire en Mg est important, le transport actif domine quand l'apport en Mg est faible et il est Na-dépendant (**Dhondup et al., 2017 ; Ahmed et al., 2019**).

Chez le ruminant adulte, l'absorption du magnésium se fait majoritairement dans le réticulo-rumen et principalement dans l'intestin grêle chez le jeune ruminant (**Meschy, 2010**).

Chez les ovins, l'absorption du Mg dans le rumen est également réduite par une augmentation du pH et de la concentration d'ammoniac dans le rumen mais ce dernier effet pourrait être de courte durée en raison de l'adaptation de la microflore (**Suttle, 2011**). Chez toutes les espèces, la fraction du magnésium alimentaire absorbé décroît avec l'âge (**Jean-Blain, 2002**).

Le magnésium est excrété à la fois par le système digestif et par le rein. L'excrétion urinaire du Mg est nettement supérieure à l'excrétion fécale endogène chez les ruminants (**Matsui, 2007**).

La majorité du magnésium excrété est présent dans les matières fécales, où il est composé du magnésium non absorbé des aliments et du magnésium endogène fécal, l'excrétion fécale endogène de magnésium est constante chez les ruminants (**Rosol et al., 1997 ; Martens, 2021**).

Les reins sont essentiels pour maintenir l'équilibre du Mg. En cas d'absorption excessive du Mg dans le tractus gastro-intestinal par l'organisme, il est excrété par les reins. L'élimination du magnésium par l'urine est un très bon indicateur de l'apport alimentaire (**Meschy, 2010**).

II.1.3.2 Rôles du magnésium

II.1.3.2.1 Rôle au sein de l'organisme

Le magnésium joue un rôle crucial dans le fonctionnement de l'organisme, il participe dans le métabolisme des protéines et des acides nucléiques ; la transmission neuromusculaire et la contraction musculaire par l'empêchement de la libération de l'acétylcholine et la diminution de la capacité de la réaction de la plaque motrice à l'acétylcholine ; la croissance et le métabolisme osseux ; la régulation de la pression sanguine et il fonctionne comme un activateur ou un catalyseur de plus de 300 enzymes dans le corps (Syeda et al., 2020).

II.1.3.2.2 Rôle dans la reproduction

Le magnésium est un minéral important dans l'alimentation. Un manque de magnésium dans l'alimentation peut avoir des conséquences négatives sur la reproduction et la santé des animaux (Keller et al., 2018).

Chez la femelle, plusieurs études ont montré que l'augmentation du taux de magnésium plasmatique réduit la rétention du placenta et le délai de la première ovulation. Un taux de magnésium plasmatique plus élevé peut améliorer le taux de conception (Gałęska et al., 2022).

Chez le male, le magnésium est un élément essentiel à la capacitation des spermatozoïdes, à la réaction acrosomique et à la spermatogenèse, la morphologie normale et la mobilité des spermatozoïdes (Azab et al., 2021 ; Afridi et al., 2022).

II.1.4 Sodium

Le sodium, un métal alcalin, le cation le plus abondant, il se trouve principalement (95 %) dans le liquide extracellulaire, mais il se dépose également dans d'autres tissus, tels que les os, la peau et les muscles (Ferreira et al., 2021). Le corps animal contient entre 1g et 1,9 g/kg de sodium, selon l'âge et l'espèce, tandis que le plasma contient 142mEq/l de Na. Il y a peu ou pas de Na dans le tissu adipeux et il n'existe pas de réserves en Na dans l'organisme animal si ce n'est le tube digestif (Meschy, 2010).

II.1.4.1 Métabolisme du sodium

Chez les ruminants, le grand intestin avec le rumen représentant le principal lieu d'absorption de sodium (**Meschy, 2010**). L'absorption au niveau du rumen se fait par un mécanisme de transport actif répond d'une part à des échanges Na^+/H^+ et d'autre part à l'intervention d'une pompe Na^+/K^+ ATPase dans la zone apicale de l'épithélium ruminale (**Meschy et al., 1995**).

Le rumen reçoit des quantités importantes de Na sous forme de bicarbonate présent dans la salive (de 3 à 3,5g/l de salive pour des animaux non carencés). C'est cinq fois plus que la quantité qui circule dans le sang. En outre, environ 50 % de la salive est réabsorbée avant le duodénum (**Jean-Blain, 2002**).

La majorité du sodium est excrété par la voie urinaire. Les pertes fécales sont assez importantes et représentent habituellement entre 15 et 20 % de la quantité d'alimentation ingérée. Lors d'un effort intense, l'excrétion de Na diminue fortement pour compenser l'augmentation des pertes extrarénales (**Ammerman et al., 1981**).

II.1.4.2 Rôles du sodium

II.1.4.2.1 Rôle au sein de l'organisme

Le sodium compose plus de 90% des bases du sérum sanguin mais n'existe pas dans les cellules sanguines (**Suttle, 2011**). En plus, il intervient dans l'excitabilité neuromusculaire (muscle squelettique et cœur), le transport actif des acides aminés et du glucose et dans de nombreux systèmes enzymatiques. Il entre également dans l'os comme un agent de cohésion (**Müller et al., 2019 ; Şahin et al., 2022**).

II.1.4.2.2 Rôle dans la reproduction

Le sodium est impliqué dans la capacitation des spermatozoïdes, la réaction acrosomique et le fonctionnement normal des spermatozoïdes (**Harchegani et al., 2019 ; Mirnamniha et al., 2019**). Il existe également une corrélation entre la teneur en sodium du plasma des spermatozoïdes et la capacité de fécondation (**Okediran et al., 2021**).

Le sodium est associé à la viabilité du follicule et à son activité dans la synthèse des œstrogènes. Ainsi que, les canaux ioniques sodiques, sont impliqués dans la contraction et la relaxation de l'utérus (**Kim et al., 2020**).

II.1.5 Chlore

Le chlore, un anion majoritairement extracellulaire dans l'organisme animal (Müller et al., 2019). Il occupe un volume de 103mEq/l dans le plasma et renferme 1 à 1,2 g/kg du poids corporel. En outre, le niveau de cet anion est plus élevé dans la peau qu'on peut considérer comme un dépôt de chlorure. Ce dernier, est localisé de la même manière que le sodium, mais avec une proportion plus faible dans les os (Jean-Blain, 2002).

II.1.5.1 Métabolisme du Chlore

L'absorption de Cl se fait tout au long du tube digestif et au niveau ruminal, simultanément l'absorption de Cl dans le rumen est possible grâce à un mécanisme de transport actif, avec une quantité de Cl absorbée équivalente à la moitié de celle de Na. L'absorption active de Cl est due, à l'interaction entre Cl⁻ et HCO₃⁻ dans la zone apicale de l'épithélium ruminal (Meschy et al., 1995).

Le chlore est presque absorbé totalement, donc 2% seulement de la quantité ingérée se trouve au niveau fécal (Jean-Blain, 2002).

II.1.5.2 Rôles du chlore

II.1.5.2.1 Rôle au sein du l'organisme

Le chlore joue un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre acido-basique, la conservation de l'électro neutralité du sérum, participe à l'activité électrique (comme les activités musculaires et myocardiques), participe à la production d'acide chlorhydrique qu'est à l'origine de la forte acidification (pH 2,5 environ) dans la caillette qui facilite la digestion des protéines et permette la solubilisation des sels minéraux, intervient à la sécrétion de fluides dans le tube digestif, influence le transport de l'oxygène et les échanges gazeux, maintient la pression artérielle et influence les fonctions rénales (Keller et al., 2018 ; Müller et al., 2019 ; Kurniawan et al., 2021).

II.1.5.2.2 Rôle dans la reproduction

Les chlorures sont liés à la capacitation des spermatozoïdes, à leur mobilité, à la réaction acrosomique et à la régulation du volume des spermatozoïdes. Les perturbations de la concentration en ions chlorure conduisent à l'inhibition de la migration des spermatozoïdes dans l'utérus (**Liu et al., 2017**).

Les concentrations d'ions chlorure sont liées aux concentrations de progestérone et ils sont en corrélation avec le diamètre des follicules et la concentration d'œstrogènes (**Azab et al., 2021**).

II.1.6 Potassium

Le potassium occupe la troisième place parmi les minéraux présents dans l'organisme. Leur concentration est 30 fois supérieure dans le liquide intracellulaire (98%) que dans le liquide extracellulaire (2%), ce qui en fait le principal cation intracellulaire (**Goncalves et al., 2020**).

Le K est présent dans tous les tissus mous, en particulier dans le tissu hépatique et musculaire, qui sont les plus riches. Les deux tiers du potassium sont localisés dans la peau et les muscles ; la répartition entre le potassium intracellulaire et extracellulaire est contrôlée par une pompe Na^+/K^+ ATPase énergie dépendante. Il n'existe pas de véritable stockage du potassium dans l'organisme (**McDowell, 2003**).

II.1.6.1 Métabolisme du potassium

Suivant un mécanisme de diffusion basé sur un gradient de concentration, la partie proximale de l'intestin grêle est l'endroit où se produit la plus grande partie de l'absorption du potassium chez les ruminants. Le potassium est également absorbé dans le feuillet, le gros intestin, la partie inférieure de l'intestin grêle et le rumen, mais seulement à l'état de traces dans ces deux derniers endroits. Plus de la moitié du potassium qui pénètre dans le rumen est absorbé passivement par les ruminants ; une partie non négligeable de ce potassium est également absorbée par les sécrétions salivaires, qui sont riches en potassium (**Klasing et al., 2005 ; Suttle, 2011**).

Peu importe le régime alimentaire, l'absorption réelle du potassium est très élevée (90 à 95%) et ne semble pas altérée par des interférences alimentaires (**Meschy, 2010**).

L'excrétion urinaire représente la voie principale d'excrétion de potassium. L'aldostérone est nécessaire pour des taux normaux de l'excrétion de potassium, il influe sur l'excrétion du potassium par l'activation des canaux sodiques qui permettent l'entrée du sodium à partir de la lumière des néphrons et l'excrétion de potassium (Gałęska et al., 2022). Ainsi que, ce dernier est excrété aussi dans les fèces, le lait et la sueur (Suttle, 2011).

II.1.6.2 Rôles du potassium

II.1.6.2.1 Rôle au sein du l'organisme

Le potassium participe à un certain nombre de processus fondamentaux. Il est impliqué dans la régulation de la pression osmotique, l'équilibre acido-basique, l'équilibre hydrique, la transmission de l'influx nerveux, la contraction musculaire, et il est un activateur ou un cofacteur dans de nombreuses réactions enzymatiques y compris ceux qui sont impliqués dans la synthèse des protéines et le métabolisme des glucides (Rodriguez-Giustiniani et al., 2022).

II.1.6.2.2 Rôle dans la reproduction

Chez les femelles, une alimentation riche en potassium peut retarder le début de la puberté, retarder l'ovulation, entraver le développement du corps jaune et augmenter l'incidence de l'anœstrus (Harchegani et al., 2019).

Les canaux potassiques sont présents dans l'ovaire et dans le myomètre de l'utérus, qui est impliqué dans la sécrétion de progestérone (Ahuja et al., 2017 ; Liu et al., 2017). Une carence en K⁺ affecte la synthèse des hormones, elle diminue les niveaux de progestérone avec une légère augmentation des œstrogènes, ce qui peut se traduire par une diminution des niveaux d'hormones de libération des gonadotrophines associée à une perte de poids des ovaires. En conséquence, elle entraîne des troubles de la reproduction (Liu et al., 2020).

Chez les mâles, le potassium est impliqué dans la réaction acrosomique, le fonctionnement normal des spermatozoïdes et qu'il influence le mouvement des flagelles des spermatozoïdes (Bernardino et al., 2019).

II.2 Les oligoéléments

Les oligoéléments, appelés aussi éléments trace métallique, sont présents en quantité infime dans l'organisme (environ 1% des cendres totales) et dont l'apport alimentaire s'exprime en ppm ou en mg/kg de MS. Ces éléments traces sont : Fer (Fe), Iode (I), Manganèse (Mn), Cobalt (Co), Sélénium (Se), Cuivre (Cu) et Zinc (Zn) (McDonald et al., 2010 ; Meschy, 2023).

II.2.1 Fer

Le fer, est un composé trace très rare et espacé dans l'organisme animal, représentant 0,004% de la composition totale. Deux types de protéines sont associés au fer de l'organisme : celles qui ont un ou plusieurs groupements prosthétiques de type hème et celles qui n'en ont pas. 70% environ du fer total se trouve sous forme hémique, c'est le fer ferrique (Fe⁺³) qui intervient dans la constitution des hémoprotéines comme l'hémoglobine (65%), la myoglobine (4 à 5%). La forme non hémique est représentée par le fer ferreux (Fe⁺²) (30% du fer total) qui entre dans la constitution de la ferritine, de l'hémosidérine (30%), de la transferrine (0,1%), et des enzymes d'oxydoréduction non hémiques (0.1%) (Lagente, 2000).

II.2.1.1 Métabolisme du fer

L'absorption du fer dans l'intestin est divisée en mécanismes hémiques et non hémiques. Dans le duodénum, sous l'action de la ferréductase membranaire, le fer non hémique (Fe³⁺) contenu dans l'alimentation est converti en fer (Fe²⁺) et est ensuite absorbé par les transporteurs de métaux divalents (DMT1), tandis que le fer hémique est absorbé par la protéine porteuse de l'hème 1 (HCP1). Dans un premier temps, l'hémoglobine présente dans la cavité intestinale est décomposée en produits de dégradation de l'hème et de la globuline sous l'action des enzymes intestinales. L'hème pénètre dans les cellules épithéliales de la muqueuse intestinale sous forme de métalloporphyrines complètes. Sous l'action de l'hème oxydase dans le cytoplasme, l'anneau de porphyrine s'ouvre, libérant du fer bivalent libre qui entre dans le pool de fer non hémique. Le fer bivalent libre est impliqué dans le métabolisme du fer dans les cellules (Carpenter et al., 1992 ; Xing et al., 2023).

Par contre, des quantités importantes en Zn, Cu, Co, Cd, Mn, et P peuvent entraîner une diminution de l'absorption du Fe (Jean-Blain, 2002 ; McDonald et al., 2010).

L'absorption du fer est beaucoup plus importante chez les jeunes animaux en croissance que chez les adultes (Klasing et al., 2005).

Le fer est excrété principalement par les fèces et l'urine, avec des pertes supplémentaires dans la sueur. L'excrétion quotidienne du fer est faible et les pertes de fer de l'organisme sont assez faibles, à l'exception des hémorragies. Malgré la libération du fer par la dégradation des érythrocytes et sa sécrétion dans la bile, la majorité de ce fer est réabsorbé et converti en hémoglobine (McDowell, 2003).

II.2.1.2 Rôles du fer

II.2.1.2.1 Rôle au sein du l'organisme

Le fer est un composant de l'hémoglobine et de la myoglobine et constitue le groupe prosthétique (hème) ; c'est un cofacteur d'une variété d'enzymes telles que le cytochrome oxydase, la peroxydase et la catalase (CAT) chez les animaux. Le fer participe au transport de l'oxygène dans l'organisme et à l'oxydation biologique dans les cellules, et joue un rôle essentiel dans le maintien de l'hématopoïèse, de l'antioxydation et des fonctions immunitaires chez les animaux (Skaar, 2010).

Comparé aux oligo-éléments inorganiques, le fer organique peut mieux répondre aux besoins de l'organisme animal (Zhang et al., 2021).

II.2.1.2.2 Rôle dans la reproduction

Le fer est un nutriment vital pour pratiquement toutes les formes de vie. Il est essentiel au développement embryonnaire et fœtal. En fin de gestation et pendant la lactation, les besoins en fer augmentent rapidement en raison de l'accroissement du stockage du fer par le fœtus et des besoins du nouveau-né (Sharma et al., 2007).

Les carences chez les animaux adultes sont rares en raison de l'omniprésence du fer dans les aliments pour animaux. Les performances reproductives des animaux déficients en fer peuvent être gravement affectées en raison de l'anémie, d'un appétit réduit et d'une condition corporelle moins bonne. Un animal carencé devient un reproducteur récidiviste et a besoin d'un plus grand nombre d'inséminations par conception et peut parfois avorter (Ahuja et al., 2017).

II.2.2 Cuivre

Le cuivre est un composant nécessaire de nombreuses enzymes, notamment le superoxyde dismutase, la lysyl oxydase et le thiol oxydase. Ces enzymes fonctionnent pour éliminer les radicaux libres qui augmentent la sensibilité des tissus aux infections bactériennes, augmentent la résistance structurelle et l'élasticité des tissus conjonctifs et des vaisseaux sanguins et augmentent la force de la corne comme celle de la griffe (sabot), minimisant ainsi la boiterie (**Patterson et al., 2003**).

Les problèmes de reproduction liés à une carence en cuivre se manifestent par un taux de conception inhibé, même si l'œstrus peut être normal. Les symptômes d'une carence en cuivre comprennent les chaleurs faibles et silencieuses, la mort embryonnaire précoce, la résorption de l'embryon, l'augmentation de la rétention placentaire et la nécrose du placenta (**Jousan et al., 2002**).

II.2.3 Zinc

Le zinc est un composant essentiel de plus de 200 systèmes enzymatiques dont l'action métabolique comprend le métabolisme des glucides et des protéines, la synthèse des protéines, le métabolisme des acides nucléiques, l'intégrité des tissus épithéliaux, la réparation et la division cellulaire, ainsi que le transport et l'utilisation des vitamines A et E (**Altay et al., 2020**).

De plus, le zinc joue un rôle majeur dans le système immunitaire et dans certaines hormones reproductives. Le zinc est connu pour être essentiel à une bonne maturité sexuelle, à la capacité de reproduction et plus particulièrement au début de l'œstrus. Il joue un rôle essentiel dans la réparation et l'entretien de la muqueuse utérine après la parturition, accélérant le retour à une fonction reproductive normale et à l'œstrus (**Capuco et al., 1990**).

Chez les mâles, une carence en zinc entraîne une mauvaise qualité du sperme et une réduction de la taille des testicules et de la libido. Le zinc augmente les taux plasmatiques de bêta-carotène, l'augmentation du bêta-carotène plasmatique a été directement corrélée à une amélioration des taux de conception et du développement embryonnaire. Un meilleur statut en zinc améliore également la fertilité en réduisant la boiterie, ce qui rend les femelles plus disposées à montrer des chaleurs et améliore la mobilité et les performances des mâles (**Control, 2020**).

II.2.4 Sélénium

Le sélénium est un élément important pour la spermatogenèse normale et en grande partie en tant que composant des séléno-protéines phospholipides hydroperoxyde glutathion peroxydase (PHGPx/GPX4) et de la séléno-protéine V. La majeure partie du sélénium trouvé dans les testicules est associé au PHGPx/GPX4, il agit comme un puissant antioxydant qui protège les cellules du stress oxydatif et semble également être impliqué en tant que protéine structurelle pour assurer la motilité normale des spermatozoïdes. Il a également été démontré qu'une variante de cette protéine est nécessaire à la condensation normale de la chromatine et à la formation normale ultérieure de la tête des spermatozoïdes (**Schaffer et al., 2022**).

Une carence du sélénium augmente l'incidence des rétentions placentaires, des ovaires kystiques, des mammites et des métrites. Ainsi que, les animaux légèrement carencés en sélénium avorteront ou les petits seront faibles et incapables de se tenir debout ou de téter (**Bindari et al., 2013**).

II.2.5 Manganèse

Le manganèse est un activateur des systèmes enzymatiques dans le métabolisme des glucides, des graisses, des protéines et des acides nucléiques. Il joue un rôle vital dans la reproduction. Il est nécessaire à la synthèse du cholestérol, qui est à son tour nécessaire à la synthèse des stéroïdes, des œstrogènes, de la progestérone et de la testostérone. Une production insuffisante de stéroïdes entraîne une diminution des concentrations circulantes de ces hormones reproductives, ce qui entraîne des spermatozoïdes anormaux chez les mâles et des cycles œstrus irréguliers chez les femelles (**Haroon et al., 2022**). Le corps jaune a une teneur élevée en manganèse et peut être affecté par le niveau de supplémentation en manganèse (**Kappel et al., 1999**).

La concentration vaginale de manganèse est plus élevée chez les ruminants cyclés que chez les ruminants anoestrous. Une carence en manganèse peut être associée à une suppression de l'œstrus, des ovaires cycliques et à une réduction du taux de conception (**Ahuja et al., 2017**).

II.2.6 Cobalt

Le cobalt est essentiel pour assurer la production adéquate de la vitamine B12. La préservation d'un niveau adéquat de vitamine B12 bénéficie à la fois à la mère et à sa progéniture (**Bindari et al., 2013**).

Quand les quantités de vitamine B12 sont suffisantes, elles pénètrent dans le placenta et se retrouvent dans le colostrum. Les niveaux élevés de vitamine B12 sont présents dans le lait et le colostrum, ce qui est essentiel pour la conversion du propionate en glucose et le métabolisme de l'acide folique et lorsque le cobalt et la vitamine B12 sont épuisés pendant la gestation, cela entraîne une baisse de la production de lait et une diminution du rendement et de la qualité du colostrum (**Bindari et al., 2013**).

II.2.7 Iode

L'iode est nécessaire à la synthèse de l'hormone thyroïdienne, la thyroxine, qui régule le taux de métabolisme. La reproduction est influencée par l'action de l'iode sur la glande thyroïde. Une fonction thyroïdienne inadéquate réduit le taux de conception et l'activité ovarienne. Ainsi, une carence en iode altère la reproduction ; les signes de carence subclinique en iode chez les femelles reproductrices comprennent une suppression de l'œstrus, des avortements, des morts naissances, une fréquence accrue de rétention placentaire et des périodes de gestation prolongées (**Hess et al., 2008**).

Chapitre III

**ALIMENTATION ET SUPPLEMENTATION
MINERALE DES PETITS RUMINANTS**

CHAPITRE III : ALIMENTATION ET SUPPLEMENTATION MINERALE DES PETITS RUMINANTS

Un aliment est une combinaison de divers produits consommés par les animaux et qui leur fournissent tout ce qu'ils ont besoin en termes d'énergie et de nutriments. En général, un seul aliment ne peut pas répondre à tous les besoins nutritionnels pour l'entretien, différentes phases du cycle reproducteur et la production. C'est la raison pour laquelle plusieurs aliments sont associés au sein d'une ration (**Drogoul et al., 2004**).

La nutrition et la reproduction sont étroitement liées sur tous les minéraux, car ils sont indispensables à l'activité sexuelle des ruminants (Ghorbankhani et al., 2015). Toute déficience en minéraux doit être compensée par un produit spécifique, l'aliment minéral, anciennement appelé « complément » ou « composé minéral vitaminisé » (CMV), et le plus anciennement encore « condiment minéral ». L'aliment minéral qui est précisément défini au plan réglementaire est supposé corriger toutes les insuffisances minérales (et vitaminiques) d'une ration donnée. Il apparaît immédiatement qu'il ne peut y avoir d'aliment minéral universel, valable pour toutes les situations, le choix de l'éleveur devant reposer sur l'analyse de la ration qu'il distribue (**Meschy, 2010**).

Les minéraux sont répartis en deux groupes selon leur importance pondérale (**Meschy, 2010**). Les macroéléments, qui se trouvent en quantité importante avec un taux qui représente 80% des minéraux de l'organisme. Parmi eux, le phosphore et le calcium sont des éléments incontournables. Contrairement aux macro-éléments, les oligo-éléments sont en quantité très faible dans l'organisme à savoir des traces (**Djaalab, 2017**). L'apport alimentaire s'exprime en milligrammes (mg/kg de MS) ou en partie par million (ppm) (**tableau 1**) (**Crocco, 2017**).

Tableau 1. Proportions relatives des éléments minéraux dans un organisme de mammifère
(Meschy, 2010)

Macroéléments (g/kg)		Oligoéléments (mg/kg)	
Calcium	16	Fer	70
Phosphore	10	Zinc	30
Potassium	2.5	Manganèse	3.0
Soufre	2.0	Cuivre	2.0
Sodium	1.5	Iode	0.4
Chlore	1.0	Sélénium	0.2
Magnésium	0.5	Cobalt	0.02

III.1 Le rationnement

Le processus de rationnement consiste à calculer une ration dans le but d'assurer une bonne couverture des besoins de l'animal en énergie, azote, minéraux et vitamines (**tableau 2 et 3**). Ces exigences se divisent en : exigences d'entretien, de développement et de production. En plus de répondre aux besoins d'un animal, une ration doit être équilibrée dans sa composition chimique, être assimilable en termes d'éléments nutritifs et ne pas contenir de substances toxiques ou d'éléments antinutritionnels (**Safsaf, 2014**).

Une alimentation rationnelle et économique des ruminants sans diminution des performances repose sur une bonne gestion de leurs réserves corporelles au cours du cycle de production (**Dirand, 2007**).

Tableau 2. Prédiction des besoins de production en éléments minéraux majeurs absorbés (en g/j) (Meschy, 2007)

	Phosphore	Calcium	Magnésium	Sodium	Chlore	Potassium
Croissance (par Kg de gain)						
Caprins	$1,2+3,19PV_{ad}^{0,28}$ $\times PV^{-0,28}$	$6,75 PV_{ad}^{0,28}$ $\times PV^{-0,28}$	0,40	1,20	1,00	1,80
Ovins	$1,2+3,19PV_{ad}^{0,28}$ $\times PV^{-0,28}$	$6,75 PV_{ad}^{0,28}$ $\times PV^{-0,28}$	0,40	0,90	0,70	1,80
Gestation (derniers tiers)						
Caprins	0,60 – 1,20*	1,00 – 2,00*	0,05	0,30	0,40	0,30
Ovins	0,40 – 0,90*	0,70 – 1,50*	0,03	0,30	0,40	0,20
Lactation (par Kg de lait)						
Caprins	0,95	1,25	0,15	0,45	1,30	1,80
Ovins	1,50	1,90	0,18	0,45	1,15	1,40

PV_{ad} : poids vif adulte en kg. PV : poids vif en kg. sg : semaine de gestation. * : selon la taille de la portée (simple-double).

Tableau 3. Apports journaliers recommandés (AJR) en oligo-éléments en mg/kg de MS de l'aration (adapté de INRA 1988) (Meschy, 2007)

Elément	Seuil de carence	Apport journalier recommandé	Seuil de toxicité	Maximum réglementaire
Cuivre	7	10	Ovins : 15 Caprins : 30	Ovins : 15 Caprins : 25
Zinc	45	50	250	150
Manganèse	45	50	1000	-
Sélénium	0,1	0,1	0,5	0,5
Cobalt	0,07	0,3	10	2
Iode	0,15	0,2 – 0,8*	8	-
Molybdène	-	0,1	3	-

III.2 Les exigences nutritionnelles et les recommandations

III.2.1 Moment de la lutte

Les besoins des femelles à ce stade du cycle de production sont principalement influencés par leur poids vif et par la nécessité ou non de reconstituer les réserves corporelles nécessaires à la fin de la gestation et surtout de la lactation. Il est essentiel de procéder rapidement à cette reconstitution car la réussite de la prochaine bataille repose sur le poids et l'état de santé de la femelle (Benderradji, 2015).

La période qui entoure l'ovulation et la nidation (1 semaine avant jusqu'à 2 semaines après l'ovulation) est une période critique pour la reproduction. L'influence de l'alimentation est forte à ce moment-là (Wolter, 1997). Alors, on peut compenser un état d'engraissement moyen par un flushing nutritionnel, cette suralimentation énergétique et minérale passagère autour du moment

de la lutte (avant et après) est très pratiqué chez les petits ruminants (**Grimard et al., 2002**); il peut modifier les performances reproductives en ciblant les ovaires, l'hypothalamus et l'hypophyse. Le flushing préœstral permet d'augmenter la ponte ovulaire et la fécondation, alors que le la flushing postœstral diminue la mortalité embryonnaire (**Hassoun et al., 2007**).

Ce flushing peut être obtenu par l'amélioration de la qualité des aliments offerts (choix d'herbe ou de fourrage moins encombrants), par l'augmentation des quantités disponibles ou offertes ou enfin, surtout en bergerie, par la distribution d'aliments concentrés et des CMV. Les effets du flushing sont variables selon l'état initial du troupeau : maximum pour des femelles en état corporel moyen (note de 2,5 à 3), son efficacité est pratiquement nulle pour des femelles très grasses (note supérieure à 4) ou trop maigres (**Bocquier et al., 1988**).

Les performances des males sont aussi modulées par les apports alimentaires avant et au cours de la lutte. Par contre, une complémentation alimentaire des males huit semaines avant la lutte est nécessaire. Elle se manifeste par l'amélioration de leur poids vif, la croissance testiculaire, la production spermatique, la qualité de production des gamètes et la libido (**Ghorbankhani et al., 2015**).

III.2.2 Moment de la gestation

Pendant la phase de gestation, le volume de la panse est limité par le fœtus. La consommation baisse de 20 %, alors que les besoins alimentaires augmentent considérablement. Une Distribution des fourrages de base de très bonne qualité comme du foin, du regain, de l'ensilage d'herbe ou des fourrages verts (pâturage) permet de couvrir les besoins alimentaires de cette phase en habituant les animaux à la ration de début de lactation. Avant la mise-bas, une augmentation lente des doses de concentrés est nécessaire pour une bonne adaptation de la panse à la ration de lactation. Une augmentation de l'approvisionnement énergétique quotidien est particulièrement recommandée à partir du début du 5ème mois de gestation, et les besoins en minéraux peuvent être couverts par des sels minéraux et des pierres à lécher (**Meschy, 2007**).

Au cours de cette phase, l'organisme maternel nécessite une quantité accrue de calcium et de phosphore. Les animaux consomment du Ca et du P de l'alimentation, ce qui signifie que l'apport en ces minéraux est proportionnel à la quantité d'aliments consommés. Car l'organisme est incapable de les fabriquer (**Crocco, 2017**).

Afin de satisfaire ses besoins en minéraux en cas d'un manque d'alimentation ou pendant les périodes où les besoins sont très élevés, comme lors de la fin de la gestation ou du début de la lactation, l'animal met en place différents mécanismes adaptatifs ; il peut également faire appel à ses réserves minérales (**Allaoua et al., 2018**). Chez les petits ruminants en fin de gestation et en début de lactation, la mobilisation représente 20% environ de minéraux du squelette (**Barlet, 1985**). Cependant, durant les étapes cruciales de la gestation (fécondation, implantation, développement de l'embryon et sa croissance), il y a une altération du métabolisme phospho- calcique. La perturbation aura des conséquences sur la quantité de l'alimentation consommée, l'assimilation des nutriments et la régulation hormonale, ce qui entraîne la mortalité embryonnaire et les avortements (**Djaalab, 2017**).

L'accrétion insuffisante de calcium au début de la gestation peut conduire à une perte nette de calcium squelettique maternel plus tard dans la gestation et nettement au moment de mise-bas en raison de la croissance des fœtus et l'élaboration de leur squelette (**Saeed et al., 2009**); ainsi que, la diminution de l'absorption intestinale du calcium au moment de mise-bas est une conséquence de la baisse de l'appétit et la diminution de la résorption osseuse qui accompagne une sécrétion élevée des œstrogènes (**Berrani, 2022**). Alors que, le phosphore est un composant essentiel de la vie microbienne : il garantit l'intégralité des structures cellulaires et autorise les principaux transferts énergétiques, de plus il est spécifiquement nécessaire à la dégradation des parois végétales et un manque de phosphore peut induire une diminution de la digestibilité et à la croissance (**Meschy, 2010**).

L'alimentation en fin de gestation a une incidence sur le poids des fœtus, la vigueur des nouveau-nés, la mortalité des petits, la production laitière, la vitesse de croissance, le poids et la maturité corporels des petits à la vente. En outre, une alimentation insuffisante durant cette phase peut avoir des effets néfastes, et un manque de matières azotées et de minéraux a toujours des conséquences désagréables sur la viabilité et le poids des petits (**Dudouet, 2003**).

III.2.3 Moment de la lactation

La lactation est le résultat d'un ensemble d'événements physiologiques chronologiques allant de la reproduction réussie au tarissement, avec la mamogénèse comme première étape et la lactogénèse comme seconde étape (**Bocquier et al., 1988**). La période de lactation revêt une grande importance tant pour la mère que pour le petit, car non seulement la mère doit produire une quantité de lait adéquate, mais elle doit également maintenir son organisme dans de bonnes conditions pour faire face aux activités à venir. La production de lait entraîne des dépenses énergétiques considérables qui varient en fonction de la quantité de lait produite et de sa composition (**Guerouali et al., 2005**).

Le calcium osseux et d'autres minéraux sont mobilisés à cette époque, car la quantité de calcium absorbée dans l'intestin ne suffit pas à satisfaire les besoins quotidiens d'une femelle allaitante. Au début de la lactation, le taux sérique de calcium diminue en raison de la forte teneur en calcium du lait. Cette quantité tend à diminuer au fur et à mesure de la lactation, et la prolactine joue un rôle essentiel en tant qu'hormone qui favorise l'absorption intestinale de cet élément pendant la lactation (**Berrani, 2022**).

Ainsi, le début de la lactation et la parturition ont également un impact sur le métabolisme du calcium. Les processus impliquent une augmentation de la libération de l'hormone parathyroïdienne et la libération rénale de métabolites actifs de la vitamine D3 afin de favoriser l'absorption intestinale du calcium, diminuer l'élimination urinaire du calcium et favoriser la mobilisation du calcium des os (**Horst et al., 2005**). En ce qui concerne le phosphore, une carence alimentaire peut avoir un impact sur la production de lait (**Montiel, 2007**).

III.3 *Moringa Oleifera*

Moringa oleifera (*MO*), également connu sous le nom d' « arbre miracle », est une espèce d'arbre appartenant à la famille des *Moringaceae*, dans l'ordre des Brassicales. La famille des *Moringaceae* compte 13 espèces, dont la *MO* est la plus cultivée et la plus étudiée (**Tshabalala et al., 2019**).

La *MO* est originaire des régions subhimalayennes du nord de l'Inde, où elle a été décrite pour la première fois comme une plante médicinale. Plus tard, il a été distribué en Afrique et en Éthiopie. Aujourd'hui, comme l'arbre peut pousser dans diverses conditions, on le trouve également dans des endroits éloignés tels que l'Amérique latine et les îles du Pacifique, entre autres pays (**Bartíkova et al., 2020**).

La *Moringa oleifera* (*MO*) est un arbre fourrager à feuilles persistantes, et l'un des arbres les plus utiles, polyvalents, à croissance rapide et résistants à la sécheresse. Il est bien connu pour son importance médicinale et ses caractéristiques nutritionnelles. Les feuilles de Moringa contiennent une quantité suffisante de vitamines, de minéraux et de protéines pour répondre aux besoins nutritionnels des animaux en gestation et en lactation. En outre, les feuilles de Moringa sont également une riche source de différents composés bioactifs, particulièrement abondants en antioxydants, y compris les flavonoïdes (kaempférol, myricétine et quercétine) (**Abbas et al., 2018**).

Les feuilles de *MO* sont facilement adaptées et digérées par les animaux, leur ajout à un régime de base peut améliorer le plan nutritionnel, l'état de santé, la production et les performances reproductives (**Patra et al., 2019**).

***Partie
expérimentale***

Chapitre IV

MATERIEL ET METHODES

Chapitre IV : MATERIEL ET METHODES

Suite aux modifications des besoins minéraux au cours du cycle de la reproduction qui entraînent des déséquilibres métaboliques favorisant la prédisposition des femelles caprines et ovines à des maladies, au cours de la période du péri partum conduisent à des pertes directes et indirectes sur le plan économique en Algérie. Alors que, nous avons essayé de jouer un rôle dans l'évaluation de l'importance de ces paramètres dans nos élevages en évaluant le profil minéral des petits ruminants en mesurant certains macroéléments et oligoéléments tel que le calcium, le magnésium, et le fer ; ainsi que, son influence sur les paramètres de la reproduction.

IV.1 Objectifs

L'objectif principal de cette étude est d'étudier les performances de reproduction chez les petits ruminants en Algérie, ainsi que d'évaluer l'influence de certains taux de minéraux plasmatiques pendant la période d'accouplement, au cours de la gestation et en post- partum. Ainsi, pour la présente étude, nous avons établi les principaux axes suivants :

- Le suivi des élevages des petits ruminants à chaque étape de la reproduction (phase œstrale, premier tiers de gestation, deuxième tiers de gestation, troisième tiers de gestation et post-partum), afin d'évaluer les performances reproductives des animaux.
- L'effectuation d'une comparaison du statut minéral des différentes races ovines et caprines à chaque étape cruciale du processus reproductif.
- L'apport d'une supplémentation à base de Moringa aux femelles ovines en fin de gestation pour étudier leur impact sur les concentration des minéraux et le poids des angeaux à la naissance.
- L'évaluation des variations des concentrations minérales et la testostérone totale dans le plasma des males au moment de la période de la lutte.

IV.2 Monographie des régions de l'étude

Makouda, une commune de la wilaya de Tizi Ouzou, située au nord de l'Algérie (36° 47' 27" Nord, 4° 4' 1" Est) avec une altitude de 910 m et une superficie de 57,43 Km². La région est montagneuse, faisant partie de la chaîne de la Kabylie maritime, composée d'une plaine étroite dans sa partie sud, et du versant sud de la chaîne maritime au nord. Le climat de Makouda est typiquement méditerranéen, chaud et sec en été et doux, humide et pluvieux en hiver à partir de 500 m d'altitude (*Wikipédia, 2020*).

Mellakou, une région qui fait partie de la wilaya de Tiaret, est située au 35°15'11" au Nord et 1°14'04 " à l'Est, avec une altitude de 956 m et une superficie de 206 km². Le climat est de type continental, sec et rigoureux en hiver il passe aussi facilement au-dessous du 0 °C qu'au-dessus de 35 °C en été ; les moyennes saisonnières sont de 6 °C pour l'hiver et 25,9 °C pour l'été (*Wikipédia, 2022*).

Ksar Chellala, une commune de la daïra de Ksar Chellala, située dans la wilaya de Tiaret. Elle se trouve dans les Hauts-plateaux à l'ouest de l'Algérie, à 35° 13' 00" au Nord et 2° 19' 00" à l'Est. Elle est localisée à 116 km à l'Est de Tiaret. Elle est située dans la steppe centrale de l'Algérie, sur le versant du djebel Ben Hamed, à une altitude moyenne de 800 mètres. Le climat de cette région est marqué par une atmosphère chaude et tempérée, il est classé dans le type Csa (climat méditerranéen chaud d'été) selon la classification climatique de Köppen-Geiger (*Wikipedia, 2023*).

IV.3 Description des élevages

La ferme de Tizi Ouzou, pratiquant l'élevage de type intensif, ne se consacrait qu'à l'élevage des caprins. Le troupeau comptait au total 570 animaux avec un pourcentage de 80,70% des femelles dont 54,34% (250/460) étaient en lactation, 36,95% (170/460) étaient en gestation et 8,69% (40/460) étaient malades) ; les mâles représentaient 5,26% de l'élevage, et les chevrettes étaient au nombre de 14,03%. L'ensemble de ces animaux était placé dans une surface de 120m x 30m x 8m. Les animaux étaient répartis en fonction de la race (Alpine et Saanen), du sexe (femelles et mâles), de l'âge (adulte et petit) et du stade physiologique (période d'œstrus, gestation et post-partum). L'alimentation des chèvres était en fonction des phases de la reproduction, et la ration mélangée était offerte trois fois par jour à 06h00, 12h00 et 16h00. Des pierres à lécher ont été ajoutées pour compléter l'apport alimentaire des femelles gestantes et allaitantes (**tableau 4**).

Tableau 4. L'alimentation des chèvres dans la ferme de Tizi Ouzou

Stade de reproduction	Alimentation		
La lutte (flushing)	<ul style="list-style-type: none"> - Orge (40g matin et soir) - Avoine à volonté - L'eau à volonté 		
La gestation	Matin	Midi	Soir
	<ul style="list-style-type: none"> - Avoine - Maïs - Concentré (300 à 350 g) 	<ul style="list-style-type: none"> - Maïs - Luzerne à volonté 	<ul style="list-style-type: none"> - Luzerne à volonté - Maïs - Concentré (300 à 350 g)
Le tarissement (steaming)	<ul style="list-style-type: none"> - Formule 14 % protéine (Maïs + Soja + Orge + Calcaire + Phosphore + Son + CMV) - L'eau à volonté 		

L'Institut Technique des Elevages (ITELV) de Kser Chellala est une ferme expérimentale qui a été choisie par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural pour soutenir et développer les filières agricoles. L'exploitation d'élevage couvre une superficie de 04 hectares et héberge deux types d'animaux, à savoir les ovins et les caprins.

Les ovins comptaient environ 80 têtes ; tandis que les caprins étaient au nombre de 117 têtes, dont 79 femelles (67,52 %) et 38 mâles (32,48 %), avec des pourcentages respectifs de 37,6 %, 58,97 % et 3,41 % pour les races Arbia, Chamia et M'zabia. L'élevage étant de type semi-intensif avec une stabulation mixte entravée en hiver (dans un espace de 690 m²), et libre en printemps (dans une aire de 527,80 m²). La séparation des sujets a été réalisée en fonction de la race, du sexe, et du stade physiologique. L'alimentation du bétail au niveau de l'exploitation est habituellement adaptée en fonction du poids des animaux, des étapes physiologiques (entretien, accouplement, gestation, lactation et croissance), en utilisant des aliments bruts (foin d'orge/avoine, foin et paille de luzerne), auxquels s'ajoutent des sources d'énergie et/ou de protéines (grain d'orge, aliment concentré), selon leur viabilité à la ferme ; la ration était distribuée en deux portions : matin et soir (**tableau 5**).

Tableau 5. L'alimentation des chèvres dans la ferme expérimentale ITELV de Kser Chellala

Stade de reproduction	Alimentation
La lutte (flushing)	<ul style="list-style-type: none"> - 0,6 kg d'aliment concentré - 0,8 kg paille (blé/orge) /tête/jour - Eau à volonté
La gestation	<ul style="list-style-type: none"> - 0,5 kg de mélange (aliment concentré + orge grain) - 0,7 kg paille (blé+ orge) /tête/jour - Eau à volonté
Le tarissement (steaming)	<ul style="list-style-type: none"> - 0.6 kg à 0.7 kg (concentré) /tête /jour - 0.8 kg foin (orge-avoine) /tête /jour - Eau à volonté

La ferme pilote de Melakou, de type semi-intensif, comptait deux espèces animales (bovins et ovins). Les ovins représentaient un total de 787 têtes, provenant de deux races : Ouled Djelal et Rembi, comprenant 432 (54,89 %) femelles, 23 (2,92 %) mâles et 332 (42,18 %) agneaux. Le type de stabulation de cet élevage est mixte (entravée + libre), selon la saison. Les animaux ont été séparés en fonction de leur sexe et de leur stade physiologique. L'alimentation du cheptel ovin a été adaptée en fonction de la saison et des aléas climatiques (**tableau 6**).

Tableau 6. L'alimentation des brebis dans la ferme pilote de Melakou

OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUIL	AOU	SEP
Orge + Fourrage				Orge + Pâturage		Pâturage		La moisson		Orge + la moisson	

IV.4 Matériel

IV.4.1 Animaux

Le matériel biologique utilisé dans cette étude comprenait 78 têtes caprines (71 chèvres ; 7 boucs), de trois races : Alpine (n=27), Saanen (n=28) et Arbia (n=23) ; et 100 têtes ovines (80 brebis ; 20 béliers), de deux races : Ouled Djellal (n= 45) et Rembi (n= 55). Ces animaux ont été suivis sanitairelement par un programme prophylactique de vaccination et de traitements antiparasitaires systématiques et ont été identifiés par des boucles auriculaires.

Dans notre étude, il était nécessaire de repérer un nombre suffisant de femelles mises à la reproduction environ un mois auparavant, car elles ont été étudiées à toutes les phases de la reproduction (œstrus, premier tiers de la gestation, deuxième tiers de la gestation, troisième tiers de la gestation et post-partum) ; tandis que les mâles ont été étudiés pendant la période d'accouplement. Les mâles géniteurs ne sont mis en contact avec les femelles que durant les deux mois de lutte (août et septembre); après la fin de chaque période, ils sont retirés et ne seront réintroduits dans le troupeau des femelles qu'à la lutte suivante.

Les caprins de la race Alpine et Saanen ont fait l'objet de notre étude au cours de la période d'août 2022 à mars 2023. Les chèvres étaient maintenues dans une étable tout au long de l'année (stabulation entravée) dans une ferme située dans la région de Makouda, Tizi Ouzou pour la production laitière et fromagère (avec une production moyenne de lait de 2 litres/chèvre/jour), âgées de 2 à 7 ans avec un score corporel de 3 et 4.

Pour les chèvres de race Arbia, l'expérimentation a été réalisée dans l'Institut Technique de l'Élevage (I.T.E.L.V) de Kser Chellala, d'octobre 2022 à mai 2023. Les animaux étaient cliniquement sains, primipares et multipares, âgés de 1 à 10 ans et pesant $24,19 \pm 6,08$ kg au moment de l'accouplement.

L'étude sur les ovins a été réalisée de novembre 2022 à mai 2023 dans une ferme pilote, située dans la région de Mellakou, Tiaret. Des brebis, cliniquement saines, déparasitées, en bonne condition nutritionnelle et âgées de 2 à 4 ans avec un score corporel de 3 et 4, ont été incluses dans cette étude.

IV.4.2 Conception de l'étude

Nous avons réalisé notre expérimentation entre août 2022 et juin 2023. Notre étude a été répartie en cinq volets distincts.

Le premier volet a porté sur une collecte de données visant à évaluer la situation et l'importance des élevages ovins et caprins en Algérie. Afin de recueillir des données inhérentes, telles que l'effectif total, la répartition des races et le niveau de production.

Le deuxième volet de notre étude, a été mené dans deux exploitations (ferme de Tizi Ouzou et I.T.E.L.V), avec des chèvres de races différentes, d'âges différents et dans des conditions différentes. Les exploitations étudiées ont été sélectionnées de manière aléatoire ; et au préalable au travail de terrain, des données concernant l'identification des chèvres et l'état des élevages ont été recueillies et enregistrées sur des fiches de renseignements (**Annexes 1 et 2**). Un effectif de 71 chèvres de trois races (25 Alpine ; 25 Saanen ; 21 Arbia), qui n'étaient pas gestantes, cliniquement saines et présentant des signes de chaleur ont été incluses dans cette étude. Des échantillons de sang total ont été prélevés à différentes étapes du cycle de reproduction, y compris la période d'œstrus ; le début de la gestation (1-2 mois) ; la mi-gestation (3-4 mois) ; la fin de gestation (5 mois) et le post-partum, en ponctionnant la veine jugulaire. Les échantillons ont ensuite été placés dans des tubes à vide stériles Venoject® (Italie) contenant de l'héparine de lithium comme anticoagulant.

Le troisième volet a été réalisé au niveau de la ferme de Mellakou sur un effectif de 80 brebis de deux races (36 Ouled Djelal et 44 Rembi), ces dernières ont été divisées en 2 lots dans une première étape. Les chaleurs ont été synchronisées par des éponges vaginales imprégnées d'une progestagène de synthèse (l'acétate de flugestone) chez 40 femelles ovines (**figure 9**) ; tandis que chez les 40 autres femelles, les chaleurs étaient naturelles. Pendant les différentes phases de la reproduction (lutte, 1^{er} tiers, 2^{ème} tiers et 3^{ème} tiers de la gestation et post-partum), cinq prises de sang ont été réalisées sur des tubes héparinés avec un enregistrement de l'ensemble des variations sur le plan clinique des brebis.



Figure 9 : Protocole de la synchronisation des brebis.

		
<p>Figure 10: Eponge Chronogest ® CR.</p>	<p>Figure 11 : Injection de 480 UI de PMSG.</p>	<p>Figure 12 : Retrait d'éponge vaginale.</p>

Le quatrième volet a été également mené dans la ferme de Mellakou ; un total de 60 brebis en fin de gestation, cliniquement saines, déparasitées, en bonne condition nutritionnelle, âgées de 2 à 4 ans avec un score corporel de 3 et 4, ont été étudiées de la fin de la gestation jusqu'au stade post-partum ; pendant ces phases deux prises de sang ont été effectuées sur des tubes héparinés. Les animaux ont été répartis en 4 lots homogènes de 20 brebis dans chaque lot et ont été soumis à une expérimentation de 30 jours. Tous les groupes ont été maintenus à température ambiante et avec une photopériode naturelle. Les groupes 1, 2 et 4 ont été séparés dans des boxes et gardés dans des stalles entravées, et chacun recevait le matin une ration calculée de mélange de grains de son et d'orge ; groupe 1 (n=20) a reçu un supplément de 7,5 g de *Moringa oleifera* /Jour/ femelle, groupe 2 (n=20) a reçu un supplément de 15 g de *Moringa oleifera* /Jour/ femelle, groupe 4 (n= 20) n'a reçu aucun supplément ; le groupe 3 (n = 20), en revanche, était nourri uniquement au pâturage à base d'herbe (**tableau 7**). Juste après l'agnelage, les nouveaux-nés étaient désignés par des numéros et pesés à l'aide d'une balance numérique électrique.

Tableau 7. Alimentation des groupes expérimentaux

Groupe	N	Alimentation
Groupe 1	20	- 16 Kg de Son - 04 Kg d'orge grain - 150 g/j de <i>Moringa oleifera</i>
Groupe 2	20	- 16 Kg de Son - 04 Kg d'orge grain - 300 g/j de <i>Moringa oleifera</i>
Groupe 3	20	- Pâturage à base d'herbe
Groupe 4	20	- 16 Kg de Son - 04 Kg d'orge grain

Le cinquième volet de cette étude a porté sur l'analyse des variations minérales et hormonales (testostérone) des mâles ovins ($n = 20$) et caprins ($n = 7$) des exploitations étudiées pendant la période d'accouplement. Pendant cette étude, une prise de sang sur des tubes héparines a été réalisée avec la mesure du périmètre scrotal à l'aide d'un ruban métrique.

- ✚ Avant le troisième prélèvement sanguin, toutes les femelles étudiées ont été soumises à un diagnostic échographique de gestation.
- ✚ Le sang a été immédiatement centrifugés et séparés après leur réception au laboratoire et ont été conservés à $- 20^{\circ}$ C jusqu'à leur analyse dans le but d'évaluer les changements du profil minéral (sodium, potassium, chlore, phosphore, magnésium, calcium et fer) chez les femelles caprines et ovines pendant les différentes phases de la reproduction ; ainsi que pour évaluer les niveaux de minéraux et de testostérone totale chez les mâles pendant la période de reproduction.

IV.4.3 Détermination de la taille d'échantillon

Finalement, notre étude a porté sur un effectif composé de **77** ovins (57 femelles et 20 mâles) et de **49** caprins (42 femelles et 7 mâles) ; 52 sujets sont exclus de l'étude pour les raisons suivantes : 15 femelles n'étaient pas gestantes, 23 ont été perdues (en raison d'une gestion inadéquate des employeurs), 6 sont mortes, 2 ont eu une mise bas prématurée et 6 a avorté).

En ce qui concerne le volé de la supplémentation en MO, nous avons sélectionné **60** brebis au commencement de l'étude et avant la finalité de l'expérimentation, **3** d'entre elles ont mis bas ; Pour conserver la quantité prévue initialement, nous avons opté pour la continuité de la supplémentation de ces femelles. L'analyse des plasmas a été réalisée uniquement sur **57** brebis, avant et après la supplémentation.

Alors, au total **522** échantillons de plasma ont été analysés, dont **459** femelles et **27** mâles répartis comme suit : 170 pour la race Rembi, 135 pour la race Ouled Djelal, 72 pour la race Arbia, 77 pour la race Alpine et 68 pour la race Saanen.

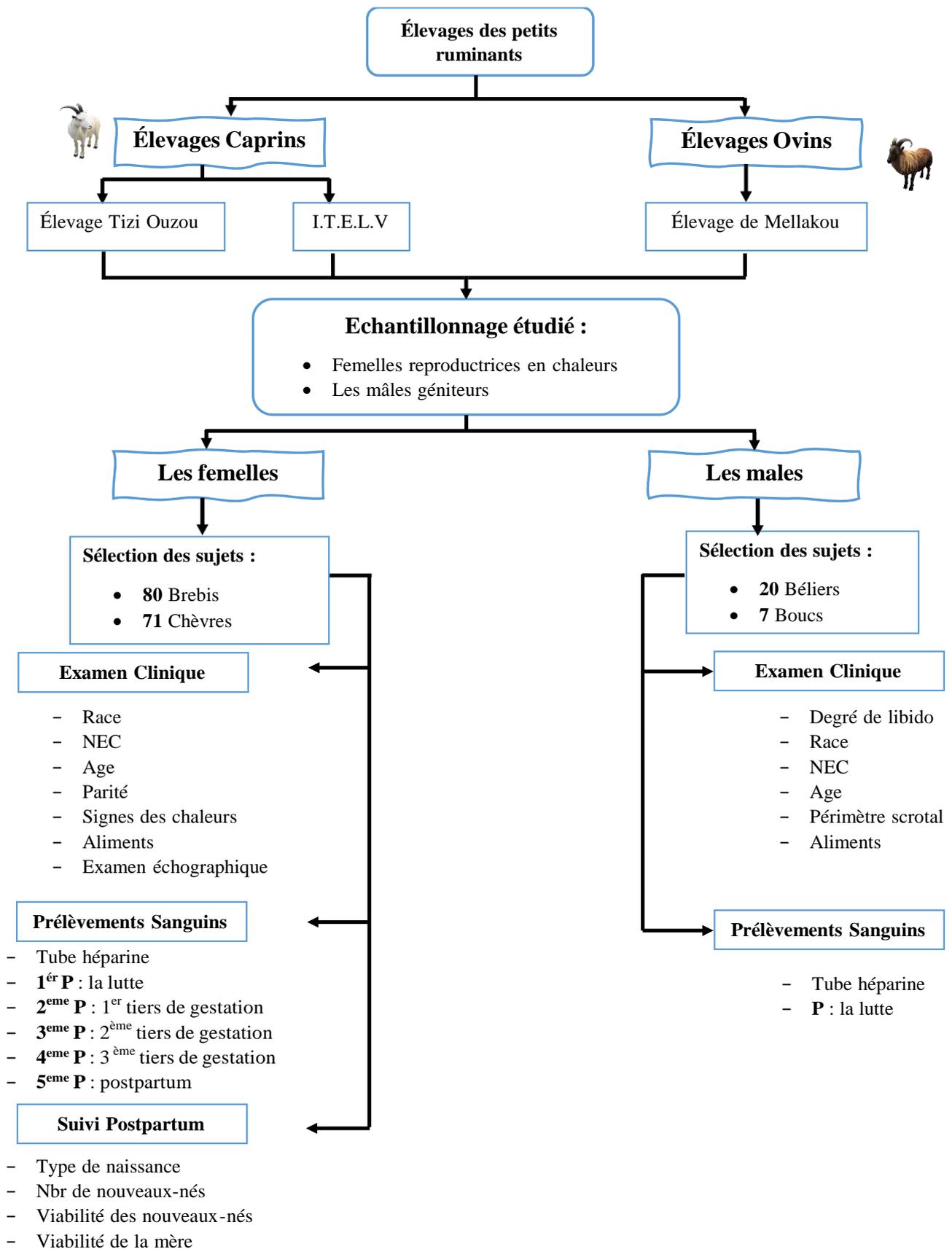
IV.5 Méthodes

IV.5.1 Déclaration éthique

Le protocole de notre étude a été approuvé par le Comité d’Ethique et d’Expérimentation Animale de l’ U.S.T.H.B d’Algérie (Réf. N° : 11125) (**Annexe 3**).

IV.5.2 Protocole expérimental

La réalisation de cette expérimentation est passée par plusieurs étapes suivant un enchaînement logique et diachronique représentées dans la **figure 13**. Chaque étape a disposé d’un objectif méthodologique à réaliser et un objectif scientifique à atteindre. Ainsi, chaque étape a produit des informations. Une fois compilées, elles serviront à construire la prochaine étape.



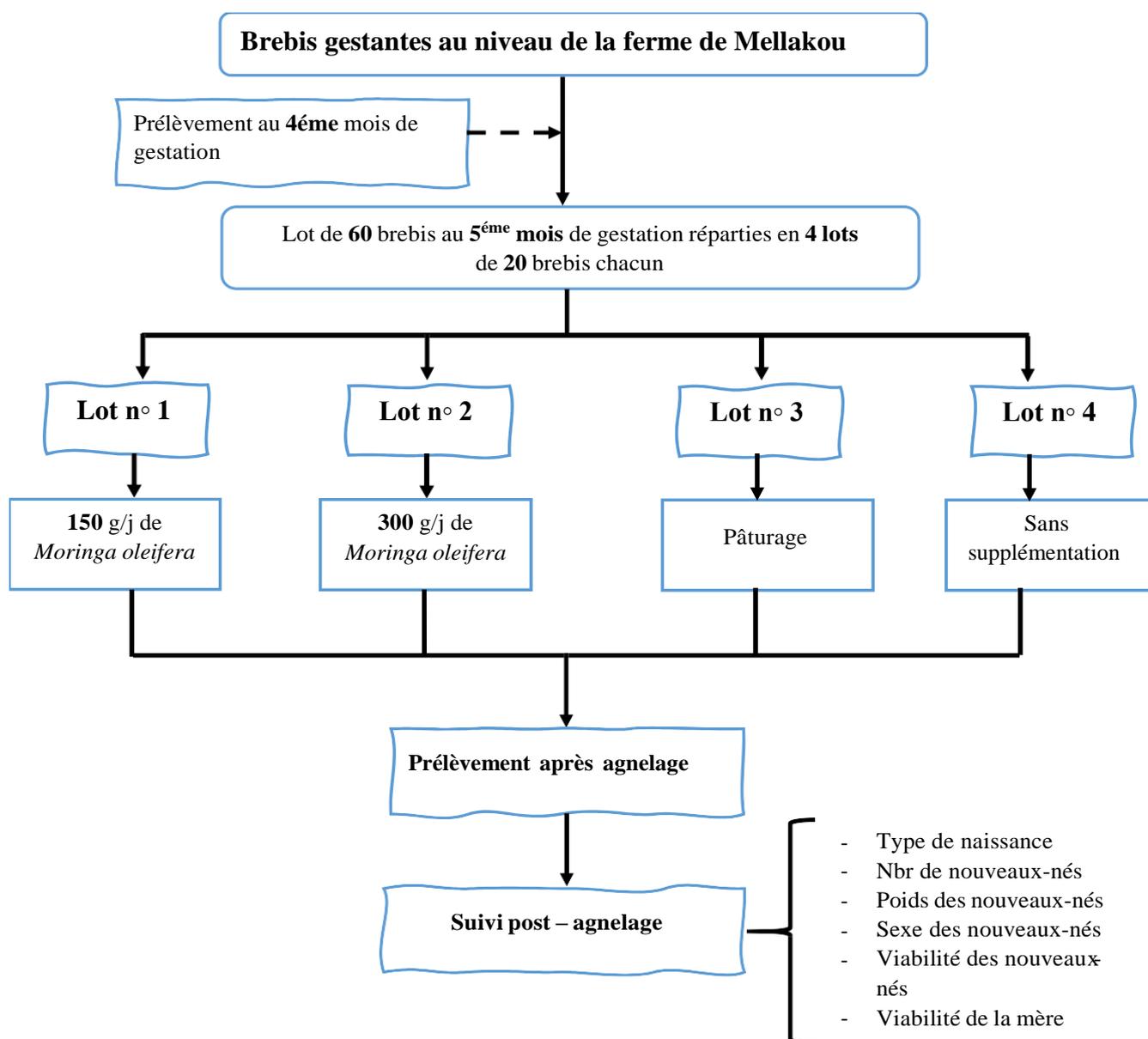


Figure 13 : Schéma du protocole expérimental au niveau des élevages étudiés.

IV.5.3 Prélèvements sanguins

Des échantillons de sang total ont été prélevés dans des tubes à vide stériles (Venoject®, Italie) qui contiennent de l'héparine de lithium en tant qu'anticoagulant, après avoir ponctionné la veine jugulaire avec une seringue de 12 ml et une aiguille de 19G x 1,1 mm x 25 mm. Les prélèvements ont été effectués à différentes étapes du cycle de la reproduction, à savoir, la période d'œstrus, le début de la gestation (1-2 mois), la mi-gestation (3-4 mois), la fin de la gestation (5 mois) et en postpartum.

Une fois que les prélèvements aient été transportés à une température de 4 °C, ils ont été centrifugés le jour du prélèvement à une masse de 4 000 tours / min pendant 10 minutes à température ambiante, afin de séparer les cellules du plasma. Le plasma récupéré était réparti dans des Eppendorf et congelé à -20° C jusqu'à son analyse ultérieure.

IV.5.4 Diagnostic de gestation (examen échographique)

Avant le troisième prélèvement sanguin, toutes les femelles de cette étude ont été examinées par échographie pour exclure les femelles non gestantes de l'étude. Le diagnostic a été réalisé pour les chèvres de la race Alpine et Saanen (ferme Tizi Ouzou) en utilisant un échographe portable CONTEC avec une sonde sectorielle et des fréquences de 5 et 7,5 MHZ. En ce qui concerne les chèvres de la race Arbia (I.T.E.L.V) et les brebis (ferme Mellakou), le diagnostic a été réalisé à l'aide d'un échographe DRAMANSKI Iscan composée d'une sonde linéaire à une fréquence de 7,5 MHZ (voir annexe 9).

IV.5.5 Analyses de laboratoire

L'analyseur de chimie automatique (modèle : CS-T180) a été utilisé pour mesurer les concentrations des paramètres biochimiques (**calcium, phosphore, magnésium et fer**) en utilisant des kits commerciaux ELITech France. En outre, le **sodium**, le **potassium** et le **chlorure** ont été mesurés dans le plasma à l'aide d'un dispositif sélectif d'ions (Easylyte ® Plus, MEDICA). En outre, le dosage de la **testostérone** a été réalisé à l'aide d'un système d'immunoanalyse par chimiluminescence (CLIA), Modèle MAGLUMI 600.

IV.5.5.1 Analyseur de chimie automatique CS-T180

L'analyseur de chimie automatique (modèle : CS-T180) est un analyseur modulaire de type discret avec un ordinateur externe. Ce dernier a des fonctions comprenant : la distribution automatique de réactifs, le préchauffage, la distribution d'échantillons, la protection contre les interférences, le mélange, la réaction, rinçage et calcul des résultats, affichage et impression. Il imite et remplace entièrement le fonctionnement manuel, ce qui non seulement améliore l'efficacité du travail, mais réduit également les erreurs de test et améliore l'exactitude et la précision des résultats des tests (**figure 14**).



Figure 14 : Analyseur de chimie automatique (modèle : CS-T180).

Principe : l'analyseur applique la méthode de photométrie de l'ensemble du processus. Autrement dit, l'absorbance de la solution réactionnelle est mesurée en continu pendant le temps de réaction de 13,5 minutes. L'absorbance de 56 cuvettes sera mesurée une par une lorsqu'elles passeront l'axe optique du photomètre. L'absorbance de chaque cuvette sera mesurée 40 fois (40 points de test) au cours du temps de réaction de 13,5 minutes. La lumière blanche de la source lumineuse sera focalisée par la lentille puis traversera la cuvette utilisée pour la photométrie. La longueur d'onde après la division de la lumière sera absorbée simultanément par 12 capteurs photoélectriques fixes et amplifiée par 12 amplificateurs respectivement. Ensuite, l'absorbance ou le taux de changement d'absorbance sera calculé. Lorsque le test à double longueur d'onde est appliqué, comme la différence d'absorbance ou la différence de taux de changement d'absorbance de la longueur d'onde principale et de la sous-longueur d'onde est utilisée pour calculer la concentration, le test à double longueur d'onde compense non seulement le test d'échantillon de lipémie, d'hémolyse et d'ictère, mais compense également les effets provoqués par la variation de tension, rendant les valeurs de test plus précises et plus stables.

IV.5.5.2 Analyseur MEDICA Easylyte Na, K, Cl

L'analyseur EasyLyte® de Medica Corporation est un système électrolytique entièrement automatisé, contrôlé par microprocesseur, qui utilise la technologie ISE (Ion Selective Electrode) pour effectuer des mesures d'électrolytes (**figure 15**).



Figure 15: Analyseur MEDICA Easylyte Na, K, Cl.

Principe : Cet analyseur mesure le sodium, le potassium, et le chlore dans le sérum, le plasma, le sang total et l'urine en utilisant la technologie des électrodes sélectives aux ions. L'électrode de sodium à écoulement continu utilise une membrane sélective spécialement formulée pour être sensible aux ions sodium. L'électrode de potassium utilise un concept similaire avec des matériaux de membrane sélective appropriés. Le potentiel de chaque électrode est mesuré par rapport à une tension stable et fixe établie par l'électrode de référence en chlorure d'argent/argent à double jonction. Une électrode sensible aux ions développe une tension qui varie avec la concentration de l'ion à laquelle elle réagit. La relation entre la tension développée et la concentration de l'ion détecté est logarithmique, comme l'exprime l'équation de Nernst : $E = E_0 - \frac{RT}{nF} \log(gC)$ où : E = Le potentiel de l'électrode dans la solution d'échantillon ; E_0 = Le potentiel développé dans des conditions standard ; $\frac{RT}{nF}$ = une « constante » dépendante de la température, désignée par la/les courbe(s) ; n = 1 pour le sodium, le potassium ; Log = Fonction logarithmique en base 10 ; g = Coefficient d'activité de l'ion mesuré dans la solution ; C = Concentration de l'ion mesuré dans la solution.

IV.5.5.3 Snibe (MAGLUMI 600)

Le Système d'immunoanalyse par chimiluminescence (CLIA), Modèle MAGLUMI 600 se sert d'une technique d'analyse à l'aide d'antigènes artificiels pour déterminer la concentration d'hormones, d'antigènes, de médicaments, etc., dans le sang, l'urine ou les liquides biologiques (figure 16).



Figure 16 : Snibe (MAGLUMI 600).

Principe : La Chimiluminescence utilise deux technologies importantes, celle permettant d'établir la réaction chimique et celle permettant la séparation des composés qui détermine la sensibilité, la précision et l'exactitude des tests.

- **Technologie ABEI :** Le système MAGLUMI utilise un marquage propre ABEI, qui consiste en une petite molécule non-enzymatique qui améliore la stabilité dans les solutions acides et alcalines.
- **Microbilles magnétiques :** La technologie MAGLUMI utilise des microbilles magnétiques comme de nombreux systèmes de chimiluminescence mais présente plusieurs caractéristiques : Elargit la zone de contact antigène-anticorps, Améliore la sensibilité (meilleure capture des antigènes et des anticorps) et Réduit les écarts inter et intra-analyses en mixant les réactifs dans une plateforme à séparation de liquide dédiée.

IV.5.6 Analyse de la plante

IV.5.6.1 La spectrométrie de fluorescence des rayons X

Une fois que les feuilles et les tiges de notre supplémentation ont été broyées et préparées en pastille à l'aide d'une pastilleuse (figures 17,18 et 19), le bombardement de rayons X a été effectué sur cette pastille en utilisant la technique de la spectrométrie de fluorescence des rayons X et l'équipement « ZSX Primus II de Rigaku » afin d'évaluer qualitativement et quantitativement la composition élémentaire de la plante.



Figure 17 : Matériel utilisé pour le broyage.



Figure 18 : Pastilleuse.



Figure 19 : Pastille à base des feuilles et tiges de *Moringa oleifera*.

Principe : La spectroscopie à rayons X dispersive de longueur d'onde (WDXRF) de l'équipement « ZSX Primus II de Rigaku » est une technique qui comporte un cristal analyseur pour diffracter les rayons X impactant et les espacements de la maille de cristal sont reliés par la loi de Bragg ($2d \sin\theta = n\lambda$) (figure 20). Les rayons X émis par l'échantillon sont collimatés par des lames de métal parallèles (fente de Soller). La lumière de rayon X diffractée par le cristal analyseur est spatialement déployée pour que les photons caractéristiques soient recueillis par un détecteur positionné à un angle précis pour enregistrer l'intensité du rayon X d'un élément spécifique.



Figure 20 : ZSX Primus II de Rigaku.

IV.5.7 Pesage

Les nouveaux-nés ont été numérotés et pesés à l'aide d'une balance numérique électrique juste après la naissance et leur prise colostrale.

IV.5.8 Circonférence scrotale

La mesure du périmètre scrotal a été faite à l'aide d'un ruban métrique.

IV.5.9 Paramètres de la reproduction

L'étude des femelles durant tout le cycle de reproduction, de l'accouplement à la période post-partum, a permis de définir les principaux indices de reproduction.

- **Taux de fertilité** = Nombre des femelles ayant mis bas / Nombre des femelles mises à saillie x 100
- **Taux de fécondité** = Nombre des nouveaux-nés (morts et vivants) / Nombre des femelles mises en saillie x 100
- **Taux de prolificité** = Nombre des nouveaux-nés (morts et vivants) / Nombre des femelles ayant mis bas x100

IV.5.10 Carte géographique

Le logiciel QGIS version 3.38.0 Grenoble a été utilisé pour la création des cartes géographiques.

IV.5.11 Analyses statistiques

Les données ont été recueillies et enregistrées dans Microsoft Office Excel afin d'être utilisées pour des analyses statistiques. Le logiciel SPSS (version 22.0 ; IBM, États-Unis) a servi pour effectuer les statistiques descriptives standard (moyenne \pm écart-type, minimum, maximum), les fluctuations des niveaux de minéraux de chaque espèce et chaque race pendant les différentes phases de la reproduction, ainsi que l'évaluation statistique des différences entre les groupes. Les résultats ont été significatifs à $P < 0,05$; $P < 0,01$; $P < 0,001$ et $P < 0,0001$.

Chapitre V

RESULTATS

Chapitre V : RESULTATS

Dans ce chapitre, nous exposons nos résultats relatifs à l'effectif et la répartition des petits ruminants en Algérie, de même que les variations de leur profil minéral (au cours des différentes phases du cycle reproductif et lors d'une supplémentation pendant le dernier tiers de gestation à base de *Moringa oleifera*). Nous rapportons également les résultats sur les performances de reproduction des femelles étudiées et les variations minérales et hormonales (testostérone totale) des mâles.

V.1 Cheptel national des petits ruminants (2010-2020)

Les données de cette partie ont été recueillies auprès du Ministère de l'Agriculture et du Développement rural.

V.1.1 Espèce caprine

V.1.1.1 L'effectif caprin en Algérie (2010-2020)

Le tableau 8 présente les chiffres du cheptel caprin au niveau national pour la période 2010-2020, tandis que la figure 21 illustre la carte géographique des wilayas où le nombre de caprins est le plus élevé en Algérie.

Tableau 8. Effectif caprin en Algérie (2010-2020)

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Chèvres	2492 855	2 578 950	2 658 890	2 894 480	2 967 407	2 955 766	2 903 147	2 949 646	2 856 327	2 919 731	2 838 636
Boucs	260 390	266 518	280 708	300 743	310 493	314 876	326 176	297 468	282 334	315 791	296 045
Chevrettes de 6mois	837 440	853 366	901 537	947 866	1 024 636	977 720	937 543	982 704	966 726	944 884	975 083
Chevreaux de 6mois	696 615	712 186	753 390	767 611	827 303	765 588	767 835	778 076	803 098	805 710	798 404
Total	4287 300	4 411 020	4 594 525	4 910 700	5 129 839	5 013 950	4 934 701	5 007 894	4 908 485	4 986 116	4 908 168

Le tableau 8 indique que le nombre de têtes de caprins en Algérie durant les 11 années étudiées (2010-2020) est compris entre 4 et 5 millions (toutes races confondues), avec un maximum enregistré en 2014 (5 129 839 têtes). Il est important de noter que **58 %** des caprins sont des chèvres avec un total de 2,8 millions de têtes est enregistré en 2020. Cependant, seulement **6 %** des caprins sont des boucs et le chiffre le plus élevé pour ces années est de 326 176 individus. Il est donc constaté que les femelles sont plus nombreuses que les mâles au niveau national. En outre, le taux de chevrettes est de **20%** chez les sujets de 6 mois et le nombre a atteint 1 million de têtes en 2014, ce qui est plus élevé que chez les chevreaux (**16%**).

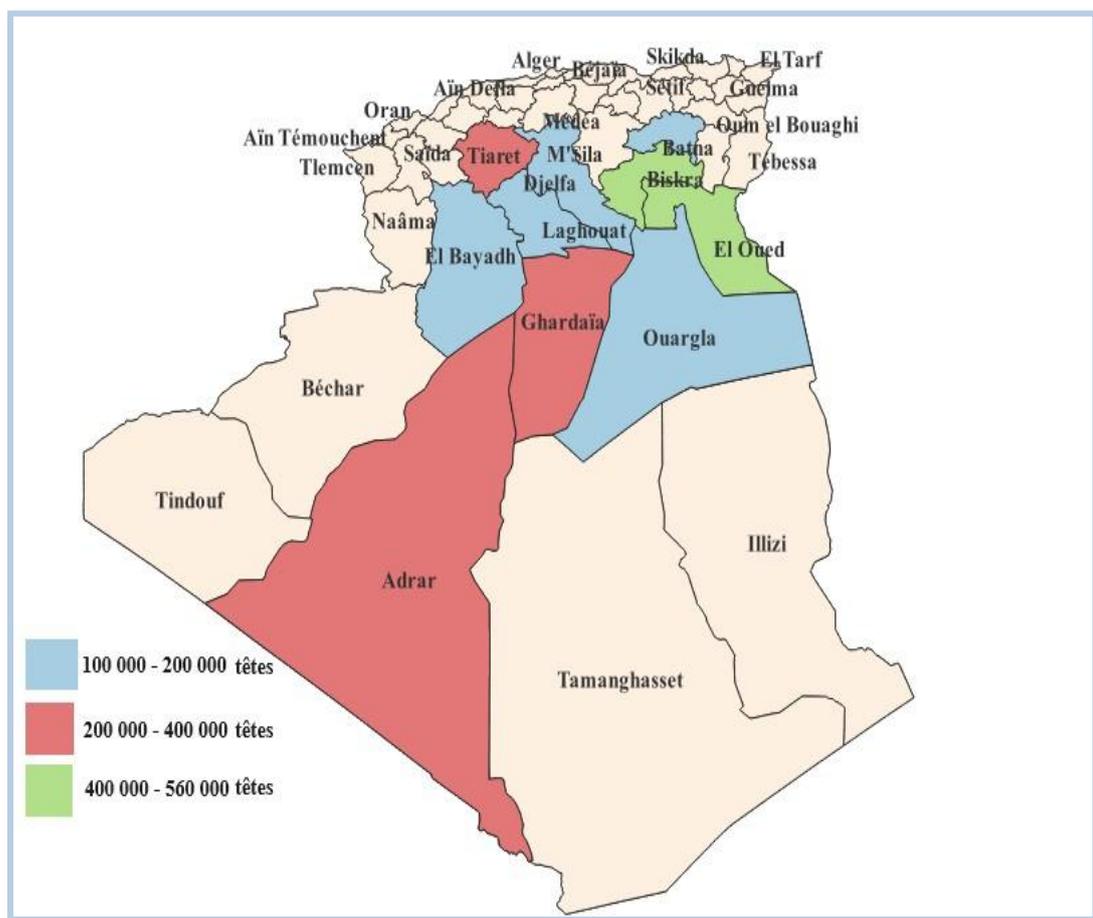


Figure 21 : Carte géographique représentant les wilayas ayant le plus de caprins.

La carte géographique de la figure 21 présente les wilayas où le cheptel caprin est important en Algérie. Ce dernier, est principalement concentré dans le Sahara algérien, en particulier dans la wilaya de Biskra, la wilaya de Batna et la wilaya d'El-Ouad, avec un effectif allant de 400 000 à 560 000 têtes. Ensuite, une population de 200 000 à 400 000 têtes caprines se trouve dans la wilaya d'Adrar, Ghardaïa et Tiaret. Enfin, dans l'Atlas saharien (Djelfa, Ouargla, El-Bayadh et Laghouat), il y a entre 100 000 et 200 000 caprins.

V.1.2 Espèce ovine

V.1.2.1 Effectif ovin en Algérie (2010 – 2020)

Le tableau **9** présente les statistiques du cheptel ovin au niveau national pour la période 2010- 2020, tandis que la figure **22** présente la carte géographique des wilayas où le nombre des ovins était le plus élevé en Algérie.

Tableau 9. Effectif ovin en Algérie (2010-2020)

Année	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Brebis	13086 963	13848 690	14620 905	15297 185	16191 021	16764 901	17161 321	17709 588	18075 234	18493 049	19279 794
Béliers	909 548	933 260	907 252	949 903	964 715	1 140 071	1 077 429	1 035 247	1 086 265	1 120 493	1 130 383
Antenaises (10 à 18 mois)	2 330 495	2 364 357	2 394 680	2 524 842	2 647 301	2 536 478	2 364 899	2 351 131	2 251 831	2 363 650	2 597 828
Antenais (10 à 18 mois)	1 758 437	1 823 503	1 902 130	1 920 833	2 025 700	1 962 020	1 937 076	2 053 684	1 975 685	1 973 024	2 117 248
Agnelles (- 10mois)	2 551 183	2 706 866	2 847 438	3 162 214	3 214 758	3 098 805	2 950 827	2 780 856	2 811 597	2 990 702	3 151 906
Agneaux (- 10mois)	2 232 144	2 312 654	2 521 700	2 718 003	2 764 239	2 609 498	2 644 434	2 463 095	2 523 382	2 488 011	2 628 401
Total	22868 770	23989 330	25194 105	26572 980	27807 734	28111 773	28135 986	28393 602	28723 994	29428 929	30905 560

Le tableau 9 montre que l'effectif national ovin augmente de 1 million (5%) d'une année à l'autre, atteignant 30,9 millions de têtes en 2020 (toutes races confondues). Il convient de souligner que 62,4% du total ovin est composé de brebis, représentant 19,2 millions de têtes en 2020, tandis que 4% des béliers représentent 1,1 million de têtes. En outre, Il y a 2,2 à 3 millions de têtes pour les sujets de 10 mois, dont les agnelles (10%) sont plus nombreuses que les agneaux (9%). En ce qui concerne les sujets âgés de 10 à 18 mois, le nombre de têtes dans le cheptel varie de 1,7 à 2,5 millions, avec une proportion plus élevée des antenaises (8%) que des antenais (7%). Donc au niveau national, les femelles ovines sont plus nombreuses que les mâles.

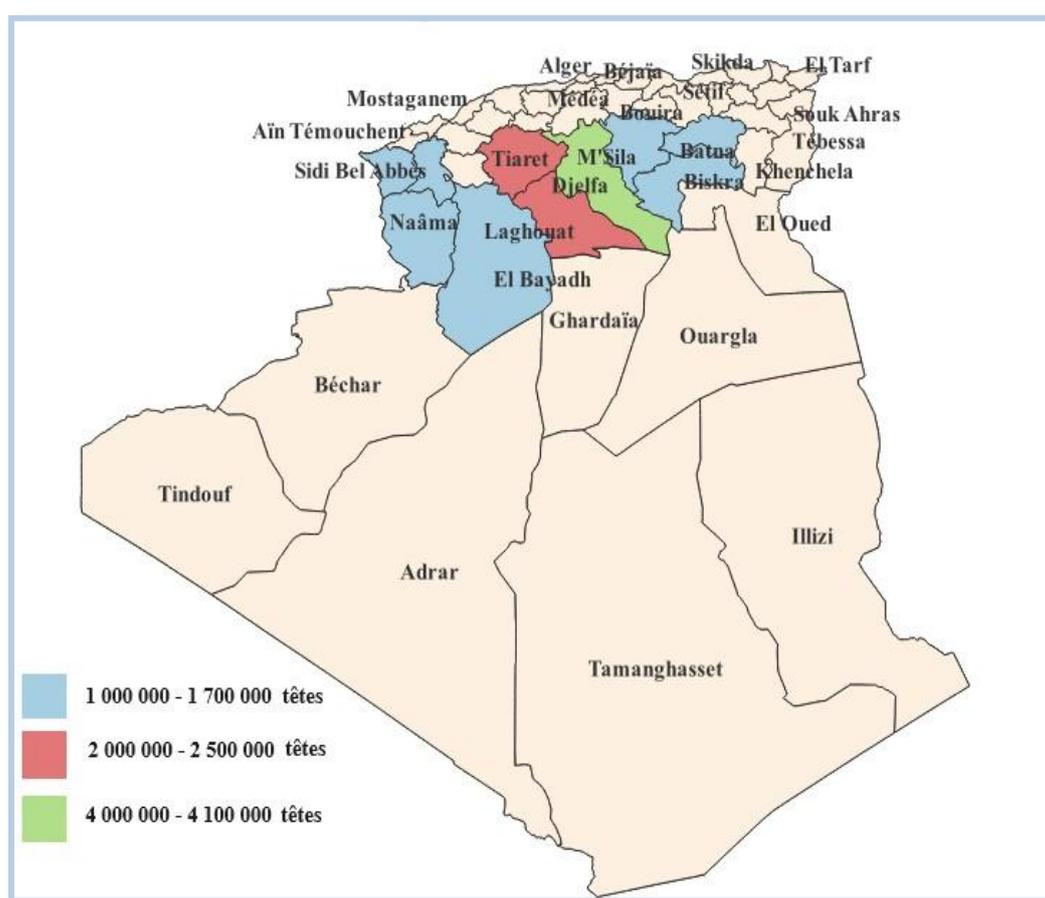


Figure 22 : Carte géographique représente les wilayas ayant le plus de ovins.

La figure 22 montre la carte géographique des wilayas où la répartition du cheptel ovin est très importante en Algérie. Cette population se concentre principalement dans la wilaya de Djelfa, située au pied de l'Atlas saharien, avec plus de 4 millions de têtes ovines. Ainsi, un cheptel au nombre de 2 à 2,5 millions a été signalé dans les wilayas de Tiaret, El-Bayad et Laghouat. Finalement, entre 1 et 1,7 millions d'ovins ont été enregistrés dans les wilayas de : Naama, M'sila, Biskra, Batna, Sidi Belabbes et Tlemcen.

V.2 Profil minéral et paramètres de la reproduction

V.2.1 Espèce caprine

V.2.1.1 Races Alpine et Saanen

Au total, **140** échantillons de plasma sanguin de chèvres alpines (n = **75**) et de chèvres Saanen (n = **65**) ont été étudiés en termes de concentrations en macro et micro minéraux (**Na, K, Cl, Ca, P, Mg, Fe**).

V.2.1.1.1 Les variations du profil minéral pendant le cycle reproductif chez les races Alpine et Saanen

Le tableau **10** présente les statistiques descriptives (moyenne \pm écart - type, minimum, maximum) qui mettent en évidence les variations des substances minérales pendant les différentes phases de la reproduction (période d'œstrus ; début de gestation (1-2 mois) ; milieu de gestation (3-4mois) ; fin de gestation (5 mois) et post-partum).

Tableau 10. Profil minéral chez des chèvres Alpine et Saanen pendant les différentes phases de la reproduction

Stade reproducteur		Œstrus			Début de gestation (1-2 mois)			Mi gestation (3-4 mois)			Fin de gestation (5 mois)			Post-partum		
Minéraux	Race	Min	M ± ET	Max	Min	M ± ET	Max	Min	M ± ET	Max	Min	M ± ET	Max	Min	M ± ET	Max
(mmol/l)	Alpine (N=15)	143,8	175,7 9 22,26	214,7	149,5	197,34 31,31	265,7	165,5	211,27 29,49	273, 9	159,9	203,9 28,79	262,7	149,5	206,08 28,71	261,1
	Saanen (N=13)	143,6	164,6 6 9,74	181,9	88,2	205,52 55,35	324,1	162,5	219,36 27,09	258, 2	154,2	232,14 34,87	274,1	151,6	222,06 47,41	296,0
(mmol/l)	Alpine (N=15)	4,13	5,47 0,74	7,04	4,71	6,58 0,91	8,29	5,02	6,28 0,79	7,72	5,21	6,44 1,05	8,92	3,58	5,74 1,09	7,56
	Saanen (N=13)	4,65	5,36 0,62	6,69	3,82	7,44 2,45	13,32	5,40	7,03 1,06	9,53	4,50	7,42 1,41	9,35	4,01	6,28 1,58	8,65
(mmol/l)	Alpine (N=15)	109,8	139,1 3 19,58	178,2	117,2	153,98 25,4	210,5	131,1	169,18 25,95	228, 6	125,5	162,2 25,89	215,6	117,0	163,5 23,81	204,5
	Saanen (N=13)	113,2	132,1 1 10,93	156,0	57,0	167,63 46,81	257,9	134,2	184,68 26,75	225, 8	126,6	193,11 29,44	226,5	114,1	181,55 38,92	238,8

P (mg/l)	Alpine (N=15)	38,47	63,45	80,84	22,76	52,33	93,19	28,04	45,04	69,3 9	33,67	53,54	76,51	30,94	59,29	85,46
			10,88			19,68			9,53			13,19			17,6	
Mg (mg/l)	Saanen (N=13)	51,97	64,32	83,09	22,4	44,23	87,61	23,23	38,91	54,0 5	17,22	29,21	46,76	20,80	38,52	54,84
			8,68			16,46			9,45			8,28			10,18	
Mg (mg/l)	Alpine (N=15)	11,31	16,09	21,33	3,29	12,08	23,6	7,24	10,98	14,7	6,71	13,4	18,64	4,50	13,86	22,93
			2,69			5,09			2,45			3,69			4,66	
Ca (mg/l)	Saanen (N=13)	18,06	21,03	28,71	7,73	14,49	19,6	7,15	13,39	17,2 7	6,94	11,4	15,25	8,13	13,82	25,32
			2,93			4,29			3,18			2,74			4,27	
Ca (mg/l)	Alpine (N=15)	39,12	73,5	102,0 2	12,55	61,2	92,19	38,85	55,97	77,2 9	26,43	61,00	85,05	17,01	60,74	94,31
			18,46			20,12			12,11			17,12			19,81	
Fe (µg/dl)	Saanen (N=13)	39,41	50,2	67,33	5,00	28,77	42,68	3,78	23,58	40,1 1	3,32	15,15	36,53	4,13	17,90	50,18
			9,37			11,05			11,02			9,86			14,19	
Fe (µg/dl)	Alpine (N=15)	39,52	93,55	184,5 4	11,26	116,06	350,71	30,63	84,57	344, 98	31,42	63,88	102,9 4	27,27	101,83	273,66
			32,79			94,58			85,35			25,02			76,12	
Fe (µg/dl)	Saanen (N=13)	64,22	91,52	165,1 8	16,40	89,26	556,2	16,79	52,93	93,0 6	26,87	41,96	71,33	23,91	52,81	116,18
			27,06			141,84			21,87			14,04			31,57	

Moyenne ± écart type. Na = Sodium ; K = Potassium ; Cl = chlore ; P= Phosphore ; Mg= Magnésium ; Ca= Calcium ; Fe = Fer.

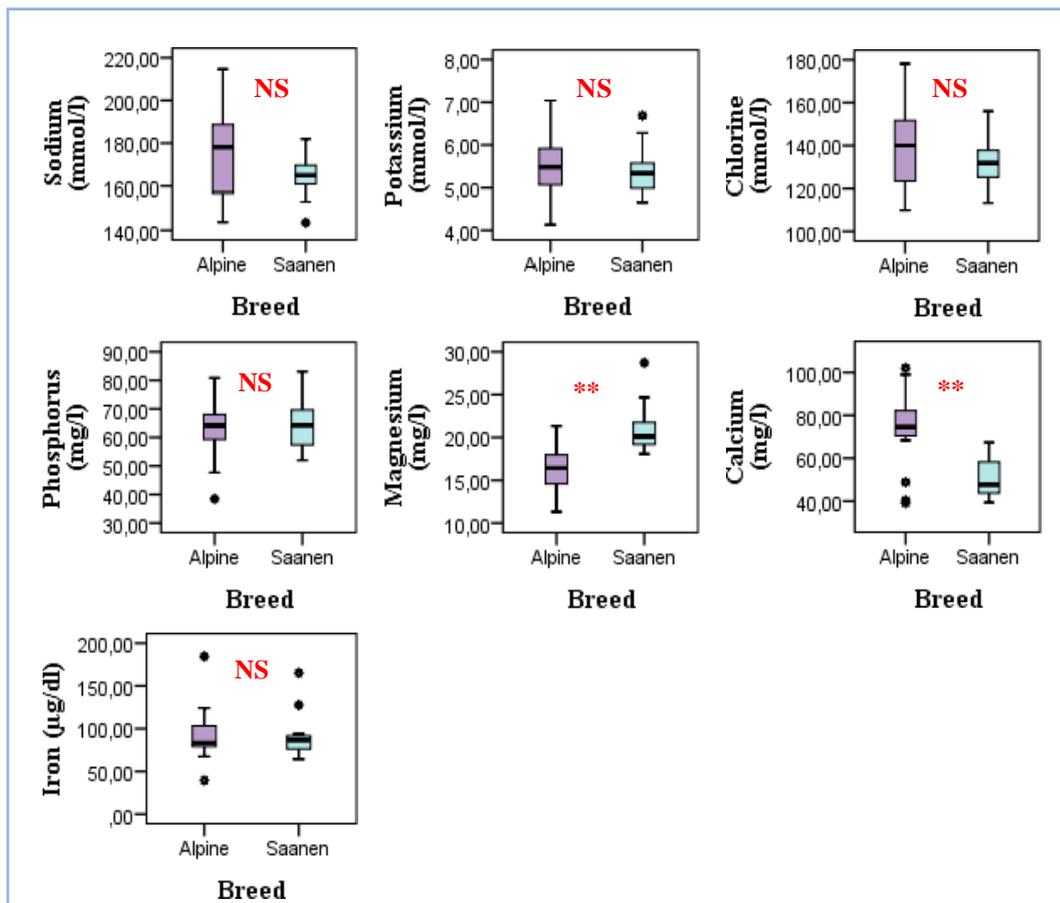
Dans cette étude, nous avons observé une augmentation des taux plasmatiques de Na et Cl dans les groupes Alpine et Saanen au cours des phases de reproduction. Les niveaux bas de Na (Alpine : 175, 79 mmol/l ; Saanen : 164, 66 mmol/l), K (Alpine : 6, 58 mmol/l ; Saanen : 5, 36 mmol/l), Cl (Alpine : 139, 13 mmol/l, Saanen : 132, 11 mmol) ont été observés respectivement en phase œstrale. Cependant, les concentrations les plus élevées de Na (203, 9 mmol/l) et de Cl (132, 11 mmol/l) ont été enregistrées au milieu de la gestation pour le groupe Alpin, et les concentrations les plus élevées de Na (203, 9 mmol/l) et de Cl (162, 2 mmol/l) a été enregistrée pour le groupe Saanen en fin de gestation. En outre, tout au long des phases du cycle reproducteur, le potassium n'a pas montré de variations appréciables dans les deux groupes, les concentrations élevées de potassium (Alpine : 6,58 mmol/l ; Saanen : 7, 44 mmol/l) ont été observées respectivement en début de gestation.

Par ailleurs, les niveaux de Mg, P et Ca étaient plus élevés pendant les périodes d'œstrus et le début de gestation, tandis qu'une diminution a été observée pour ces paramètres lors des derniers mois de la gestation ; la faible concentration de Ca et P (15, 15 mg/l, 29, 21 mg/l) ont été détectés respectivement au cours du dernier mois de gestation pour le groupe Saanen, et les faibles niveaux de Ca et de P (55, 97 mg/l, 45, 04 mg/l) ont été observés au milieu de la gestation pour le groupe Alpine. Cependant, le groupe Saanen avait également des niveaux de fer inférieurs à ceux du groupe Alpine.

V.2.1.1.2 L'effet de la race sur le profil minéral chez les chèvres Alpine et Saanen pendant les phases de la reproduction

Le test t pour les échantillons appariés a été utilisé pour étudier les variations des niveaux de minéraux de chaque race pendant les différentes phases de reproduction ; les résultats sont présentés sous forme de boîtes à moustaches.

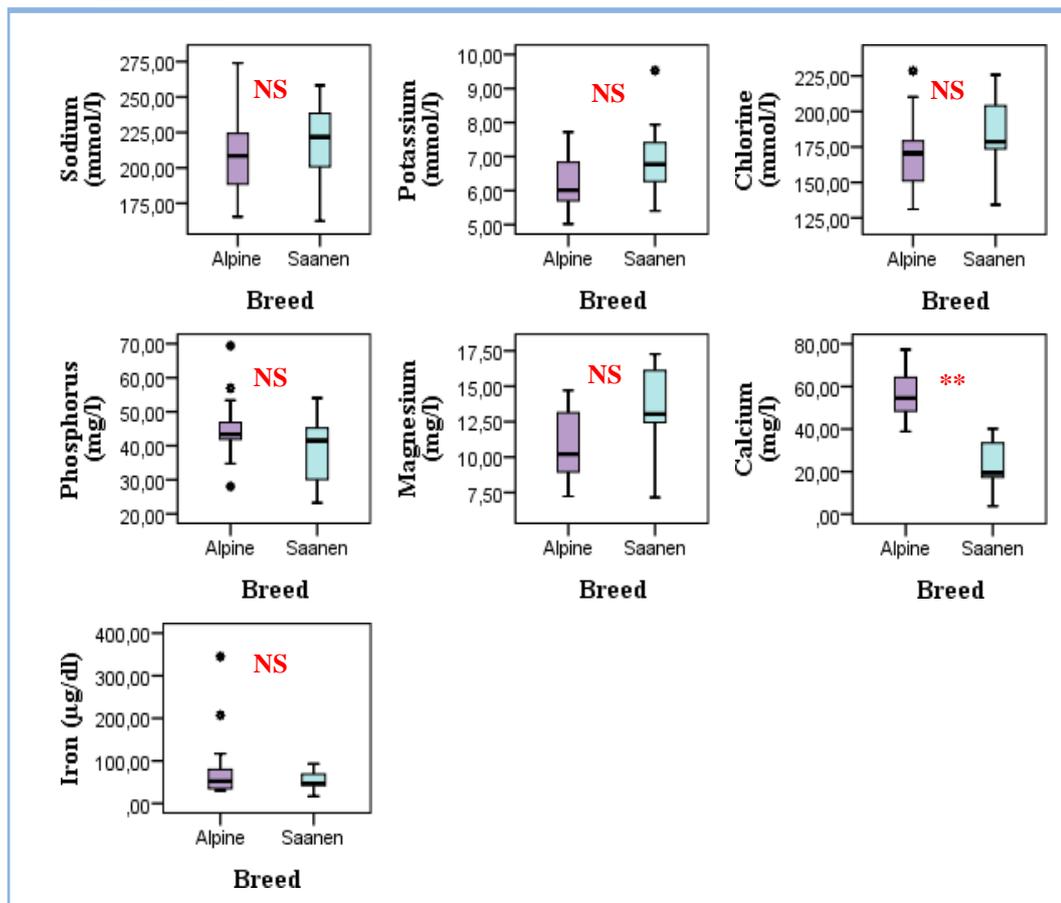
V.2.1.1.2.1 Phase d'œstrus



Ligne noire au milieu des cases = médiane, case rose = race Alpine, case bleue : race Saanen, moustaches = minimum/maximum, * = valeur aberrante. Ns = non significatif ; * = significatif à P <0, 05 ; ** = significatif à P <0, 01 ; *** = significatif à P <0,001.

Figure 23: Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant la période d'œstrus.

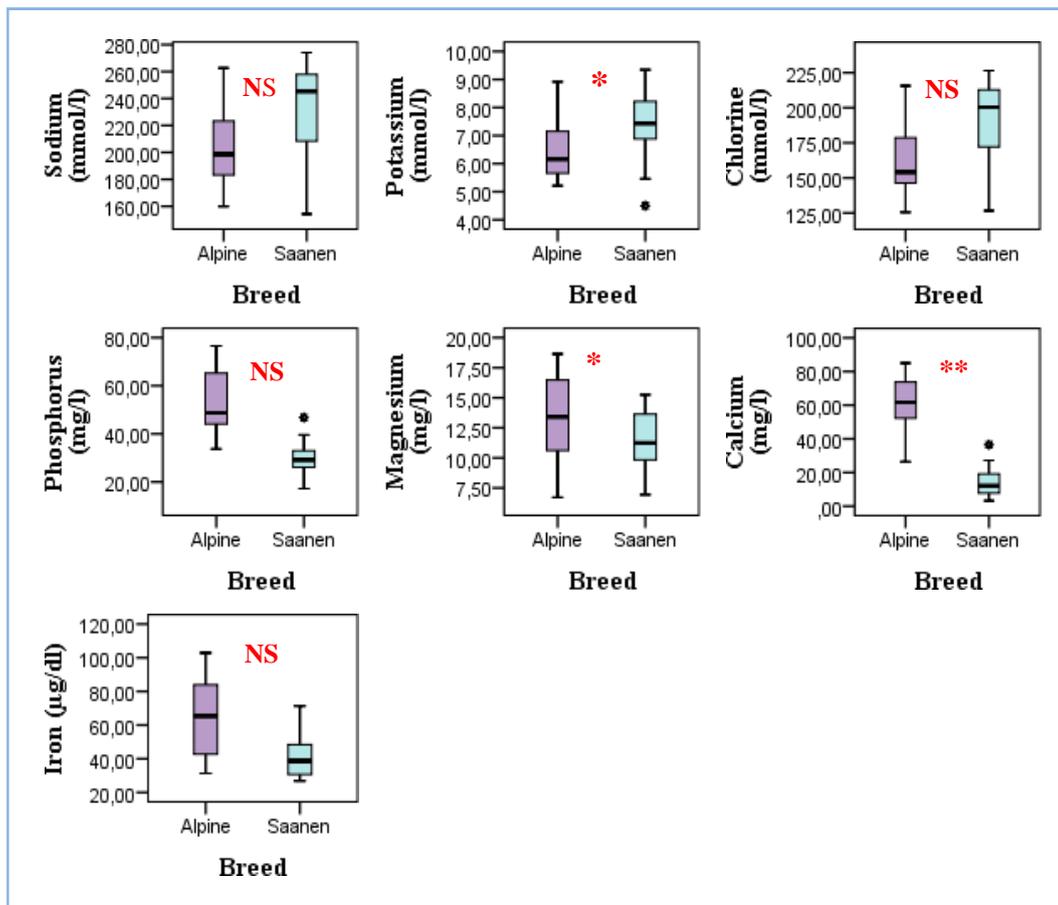
V.2.1.1.2.2 Début de gestation



Ligne noire au milieu des cases = médiane, case rose = race Alpine, case bleue : race Saanen, moustaches = minimum/maximum, * = valeur aberrante. NS = non significatif ; * = significatif à $P < 0,05$; ** = significatif à $P < 0,01$; *** = significatif à $P < 0,001$.

Figure 24: Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant le début de gestation (1-2 mois).

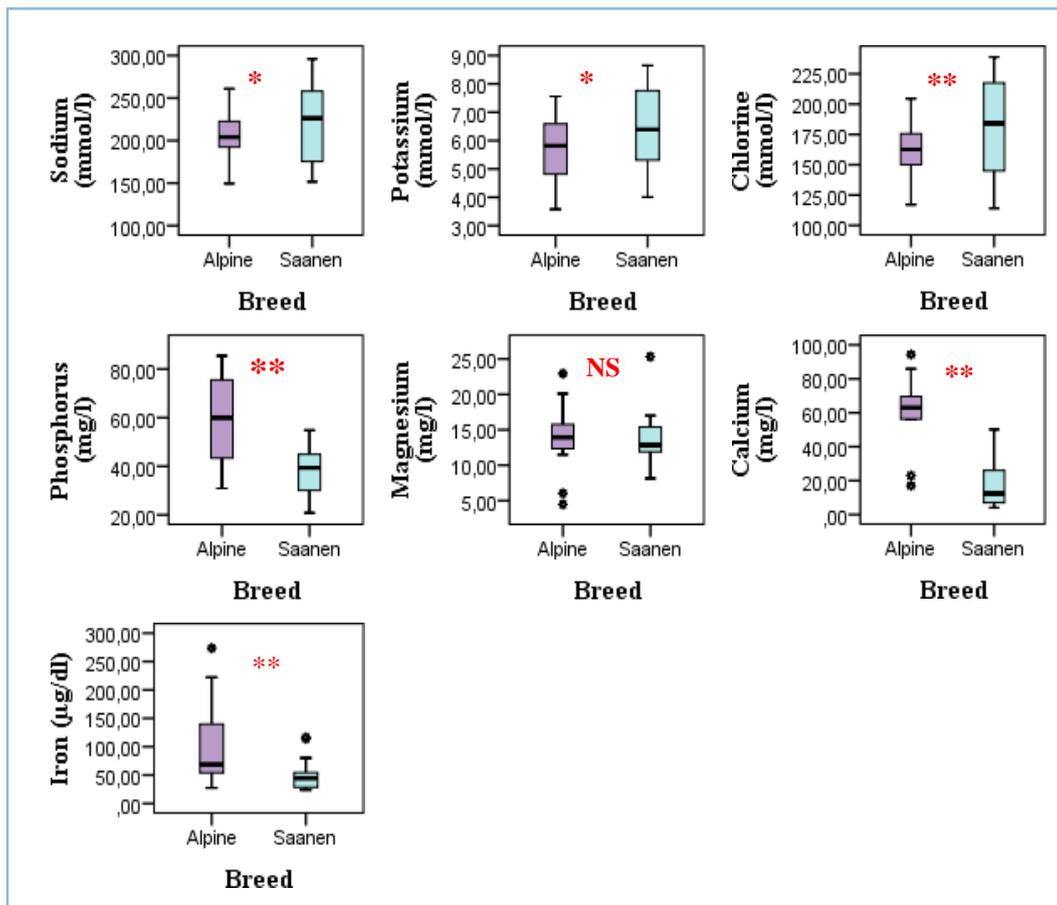
V.2.1.1.2.3 Mi – gestation



Ligne noire au milieu des cases = médiane, case rose = race Alpine, case bleue : race Saanen, moustaches = minimum/maximum, * = valeur aberrante. Ns = non significatif ; * = significatif à P <0, 05 ; ** = significatif à P <0, 01 ; *** = significatif à P <0,001.

Figure 25 : Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant la mi – gestation (3-4 mois).

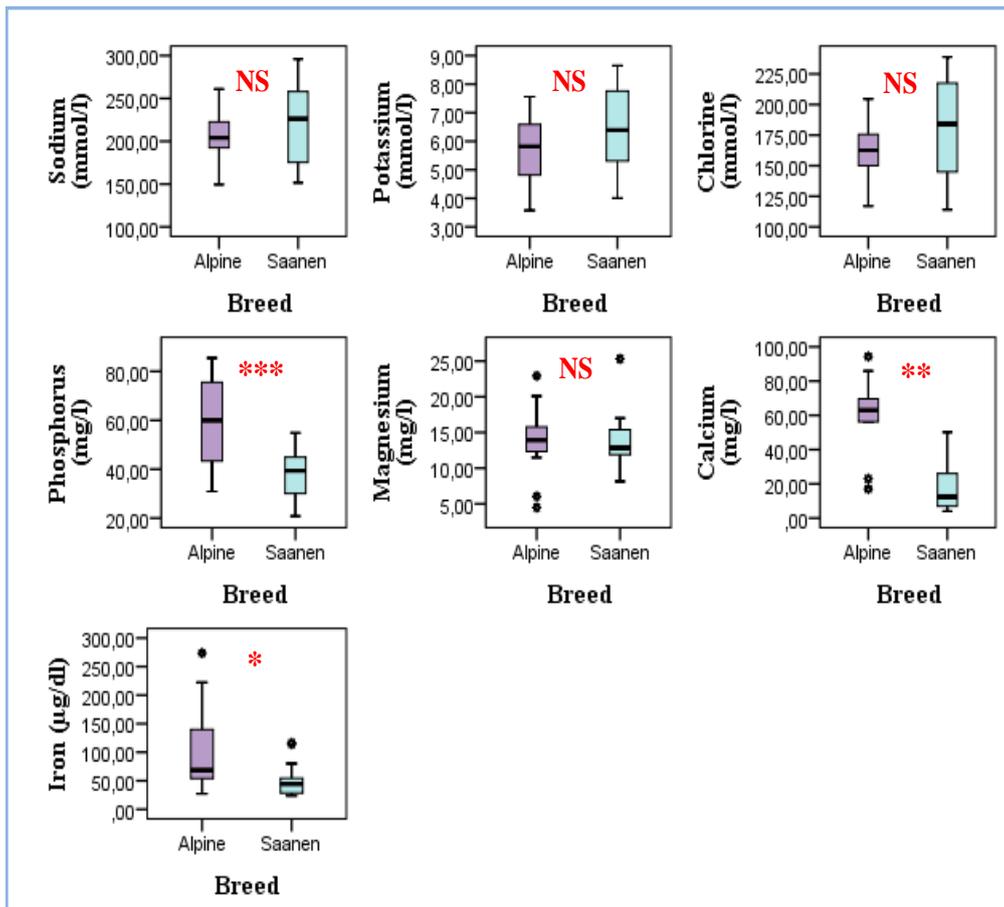
V.2.1.1.2.4 Fin de gestation



Ligne noire au milieu des cases = médiane, case rose = race Alpine, case bleue : race Saanen, moustaches = minimum/maximum, * = valeur aberrante. Ns = non significatif ; * = significatif à $P < 0,05$; ** = significatif à $P < 0,01$; *** = significatif à $P < 0,001$.

Figure 26: Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant la fin de gestation (5 mois).

V.2.1.1.2.5 Post Partum



Ligne noire au milieu des cases = médiane, case rose = race Alpine, case bleue : race Saanen, moustaches = minimum/maximum, * = valeur aberrante. Ns = non significatif ; * = significatif à $P < 0,05$; ** = significatif à $P < 0,01$; *** = significatif à $P < 0,001$.

Figure 27: Box plot comprenant les résultats des niveaux de minéraux provenant d'échantillons de sang plasmatique attribués à 15 chèvres Alpine et 13 chèvres Saanen pendant le postpartum.

Les résultats statistiques du traitement des teneurs en minéraux pendant la période d'œstrus n'ont révélé aucune différence significative ($P > 0,05$) pour les teneurs en Na, K, Cl, P et Fe, tandis que les teneurs en Ca et Mg ont montré une différence très significative ($P < 0,01$) entre les chèvres Alpine et Saanen (**figure 23**). Cependant, au cours du premier tiers de la gestation (1 à 2 mois), seuls les taux de Calcium présentaient une différence très significative ($P < 0,01$) (**figure 24**). Selon les résultats du box plot, il a été confirmé que les concentrations de K et de Mg étaient significativement différentes ($P < 0,05$) et que le Ca était très différent ($P < 0,01$) dans les races Alpine et Saanen pendant le 2^{ème} tiers de la gestation (**figure 25**).

De plus, des différences significatives ont été observées entre les groupes pour les taux plasmatiques de Na et K ($P < 0,05$) et pour Cl, P, Ca et Fe, des différences très significatives ($P < 0,01$) au cours du dernier mois de grossesse (**figure 26**). D'après l'analyse statistique, les fluctuations du phosphore après la gestation (postpartum) ont été hautement significatives ($P < 0,001$). En outre, les concentrations de calcium ont également été très significatives ($P < 0,01$) et les concentrations de fer ont été faiblement significatives ($P < 0,05$) pour les groupes Alpine et Saanen (**figure 27**).

V.2.1.1.3 Paramètres de la reproduction

Le tableau 11 présente les différents paramètres de performances reproductives tels que le type de gestation (gestation simple, double gestation), le nombre de petits, le taux de fertilité, le taux de fécondité et le taux de prolificité pour les races Alpine et Saanen.

Tableau 11. La différence entre les paramètres de reproduction chez les chèvres étudiées de race Alpine et Saanen.

Race	Alpine (n=25)		Saanen (n=25)	
	N	%	N	%
Nombre de chevrotage	20	80	19	76
Chèvres infertiles	2	8	5	20
Nombre des petits	33	/	30	/
Nombre de gestation simple	7	35	8	42,10
Nombre de gestation double	13	65	11	57,89
Taux de fertilité	/	80	/	76
Taux de fécondité	/	132	/	120
Taux de prolificité	/	165	/	157.89

Selon les données, les chèvres alpines étaient plus fertiles (**80 %**), plus fécondes (**132 %**) et plus prolifiques (**165%**) les chèvres Saanen que les chèvres Alpines.

V.2.1.2 Race Arbia

Dans cette section, nous avons établi les résultats du dosage de différents paramètres minéral tels que (Na, K, Cl, Ca, P, Mg, Fe) pour un échantillon de **70** plasmas sanguins de chèvres Arbia (**35** primipares et **35** multipares) étudiées pendant toutes les étapes de la reproduction.

V.2.1.2.1 Les variations du profil minéral pendant le cycle reproductif chez la race Arbia

Les statistiques descriptives du profil minéral chez les chèvres Arbia dans les différentes phases de reproduction (période d'accouplement, gestation et période post-partum) sont rassemblées dans le tableau **12**.

Tableau 12. Variations du profil minéral chez les chèvres Arbia pendant le cycle reproductif

Paramètre \ Période	Œstrus	Début de gestation (1-2mois)	Mi – gestation (3 – 4 mois)	Fin de gestation (5mois)	Postpartum
Sodium (mmol/l)	220,47± 31,79	258,42± 25,84	269,07± 26,66	249,02±33,86	235,87±19,77
Potassium (mmol/l)	6,21±0,75	7,01±0,65	7,91±0,93	6,87±0,96	6,33±0,49
Chlore (mmol/l)	176,35±25,99	211,3±20,59	217,5±19,56	204,95±28,54	191,3±17,26
Phosphore (mg/l)	48,87±17,29	32,81±15,04	37,33±8,02	30,58±7,27	42,36±11,41
Magnésium (mg/l)	7,62±2,46	5,81±2,82	6,89±1,98	7,12±1,83	10,31±2,28
Calcium (mg/l)	26,88±7,17	23,36±14,63	22,66±6,60	25,13±7,68	37,17±9,28
Fer (µg/dl)	37,06±17,69	31,29±39,57	28,39±15,26	33,37±17,47	35,14±16,44

Les résultats du tableau 12 illustrent les fluctuations du profil minéral pendant les différentes étapes du cycle reproducteur chez les chèvres de la race Arbia. Les résultats montrent que les concentrations des trois paramètres Na, K et Cl sont plus faibles pendant la phase d'accouplement (œstrus) (Na : 220,47 mmol/l ; K : 6,21 mmol/l ; Cl : 176,35 mmol/l). Cependant, ces paramètres ont leurs concentrations les plus élevées pendant le deuxième tiers de la gestation (Na : 269,07 mmol/l ; K : 7,91 mmol/l ; Cl : 217,5 mmol/l).

En outre, le phosphore a été très élevé pendant l'œstrus (48,87 mg/l), puis il a diminué jusqu'à 30,58 mg/l avant le chevrotement, puis il a augmenté jusqu'à 42,36 mg/l. Lors du premier tiers de gestation, nous avons observé une concentration minimale de magnésium de 5,81 mg/l, tandis que pour le calcium, nous avons observé une concentration minimale de 22,66 mg/l. Cependant, pour ces deux paramètres, les concentrations les plus élevées sont enregistrées après chevrotage, avec des concentrations respectives de 10,31 mg/l et 37,17 mg/l. En ce qui concerne le fer, on a observé une concentration élevée de 37,06 µg/dl pendant l'œstrus, puis elle a diminué jusqu'à 28,39 µg/dl, qui a été la concentration la plus basse pendant le deuxième tiers de la gestation, puis elle a augmenté.

V.2.1.2.2 L'effet de la parité sur le profil minéral chez les chèvres Arbia

Le test t apparié a été utilisé pour évaluer l'impact de la parité sur les niveaux de minéraux à différentes phases de la reproduction, tandis que le test de corrélation de Pearson a été utilisé pour étudier la relation entre l'âge des chèvres, leur poids à l'accouplement, le poids des petits à la naissance d'Arbia et la concentration de minéraux en fin de gestation. La signification statistique a été fixée à $P < 0,05$.

Tableau 13. Impact de la parité des chèvres Arbia sur les concentrations des minéraux au cours des différentes phases de la reproduction.

Stade physiologique		Œstrus		1 ^{er} tiers de gestation (1-2 mois)		2 ^{ème} tiers de gestation (3-4 mois)		3 ^{ème} tiers de gestation (5 mois)		Post-partum	
		M ± ET	P-value	M ± ET	P-value	M ± ET	P-value	M ± ET	P value	M ± ET	P-value
Na (mmol/l)	Primi (N=7)	219,61±42,84	0,4	257,0±22,63	0,84	260,98±15,71	0,27	235,14±14,67	0,17	231,27±17,28	0,4
	Multi (N=7)	221,34±18,76		259,84±30,5		277,17±33,77		262,91±22,96		240,47±22,33	
K (mmol/l)	Primi (N=7)	6,24±0,98	0,4	6,86±0,63	0,39	7,71±0,86	0,44	6,53±0,99	0,2	6,24±0,42	0,54
	Multi (N=7)	6,18±0,52		7,17±0,68		8,11±1,02		7,20±0,87		6,41±0,58	
Cl (mmol/l)	Primi (N=7)	175,72±35,38	0,33	208,75±18,64	0,66	211,47±9,9	0,33	192,9±31,96	0,14	187,61±16,07	0,44
	Multi (N=7)	176,98±14,54		213,84±23,58		223,54±25,41		217,01±20,1		194,98±18,86	
P (mg/l)	Primi (N=7)	48,62±14,25	0,84	38,01±19,04	0,22	39,77±8,1	0,18	34,48±6,78	0,03	46,66±11,75	0,16
	Multi (N=7)	49,11±21,07		27,62±8,02		34,9±7,74		26,68±5,75		38,06±10,05	

Mg (mg/l)	Primi (N=7)	7,84±3,24	0,75	6,61±3,53	0,4	6,79±2,03	0,85	7,79±2,25	0,18	10,5±2,66	0,77
	Multi (N=7)	7,40±1,58		5,00±1,81		6,99±2,08		6,45±1,08		10,12±2,02	
Ca (mg/l)	Primi (N=7)	26,91±9,64	0,9	27,98±19,41	0,4	21,78±7,1	0,6	29,19±8,18	0,04	40,55±8,62	0,18
	Multi (N=7)	26,85±4,28		18,75±6,13		23,55±6,5		21,06±4,73		33,79±9,25	
Fe (µg/dl)	Primi (N=7)	40,11±24,65	0,9	45,21±53,55	0,7	31,10±13,11	0,2	44,11±17,18	0,01	45,21±15,3	0,01
	Multi (N=7)	34,01±6,97		17,38±8,54		25,68±17,75		22,63±9,84		25,06±10,72	

Moyenne ± écart type ; P. value. Na = Sodium ; K = Potassium ; Cl = chlore ; P = Phosphore ; Mg= Magnésium ; Ca= Calcium ; Fe = Fer. Clé : Primi : primipare, Multi : multipare.

Dans cette étude, nous observons une influence de la parité des chèvres Arabia sur les niveaux de concentration des minéraux pendant les différentes étapes de la reproduction (**tableau 12**). Dans les deux groupes, les niveaux de minéraux varient : chez les femelles primipares et multipares, les électrolytes sodium (Na), potassium (K) et chlorure (Cl) ont été plus élevés au milieu de la gestation (3-4 mois), tandis qu'une baisse de la concentration se produit pendant la période d'accouplement ; il n'y a pas de différence appréciable ($P > 0,05$) dans ces besoins tout au long des différentes phases de reproduction. Les niveaux de phosphore en fin de gestation pour les groupes étaient significativement plus faibles ($P < 0,05$) à 34, 48 mg/l et 26, 68 mg/l, respectivement. Les résultats ont montré que les chèvres primipares et multipares présentaient des concentrations élevées de ce paramètre tout au long de la période œstrale. Cependant, une différence significative ($P < 0,05$) a été observée pour la concentration de calcium (Ca) au cours du dernier mois de gestation. Alors que le magnésium (Mg), n'a pas connu de modification significative et ses concentrations ont augmenté après la gestation. Les taux de fer (Fe) des chèvres multipares étaient nettement plus faibles en fin de gestation et pendant les périodes post-partum que ceux des chèvres primipares (44, 11 µg/dl ; 22, 63 µg/dl et 45, 21 µg/dl ; 25, 06 µg/dl), respectivement.

V.2.1.2.3 Facteurs influençant le profil minéral en fin de gestation chez la chèvre Arbia

Le tableau 14 présente les valeurs du coefficient de corrélation entre l'âge des chèvres, le poids des chèvres à l'accouplement, le poids des chevreaux à la naissance et les concentrations plasmatiques des minéraux en fin de gestation.

Tableau 14. Corrélation entre l'âge des chèvres, le poids des chèvres à l'accouplement, le poids des chevreaux à la naissance et les concentrations plasmatiques des minéraux en fin de gestation

		L'âge des chèvres	Poids des chèvres à l'accouplement	Poids des chevreaux à la naissance	Na	K	Cl	P	Mg	Ca	Fe
L'âge des chèvres	r	1									
	p										
Poids des chèvres à l'accouplement	r	0,768**	1								
	p	0,001									
Poids des chevreaux à la naissance	r	0,213	0,459	1							
	p	0,464	0,099								
Na	r	0,426	0,648*	0,403	1						
	p	0,128	0,012	0,153							
K	r	0,440	0,625*	0,323	0,926**	1					
	p	0,115	0,017	0,259	0,00						

Cl	r	0,430	0,653*	0,438	0,996**	0,931**	1				
	p	0,125	0,011	0,117	0,00	0,00					
P	r	-0,571*	-0,476	-0,293	-0,90	-0,231	-0,144	1			
	p	0,033	0,085	0,310	0,758	0,427	0,624				
Mg	r	-0,207	-0,055	0,030	0,070	-0,064	0,049	0,547*	1		
	p	0,479	0,853	0,919	0,813	0,829	0,868	0,043			
Ca	r	-0,457	-0,377	-0,086	-0,473	-0,504	-0,447	0,351	0,655*	1	
	p	0,101	0,184	0,769	0,088	0,066	0,109	0,219	0,011		
Fe	r	-0,562*	-0,436	-0,199	-0,557*	-0,593*	-0,561*	0,543*	0,605*	0,798**	1
	p	0,036	0,119	0,496	0,039	0,025	0,037	0,045	0,022	0,001	

r : Coefficient de corrélation de Pearson, p : P-value, * : Corrélation significative à $p < 0,05$, ** : significative à $p < 0,01$. Na = Sodium; K = Potassium; Cl = chlore; P= Phosphore; Mg= Magnésium; Ca= Calcium; Fe = Fer.

Chez les chèvres Arbia, nous avons noté une corrélation significative entre le poids (P_0) des chèvres à l'accouplement et leur âge (A_0) au moment de l'accouplement ($r = 0,768$), P_0 et Na ($r = 0,648$), P_0 et K ($r = 0,625$), P_0 et Cl ($r = 0,653$). Une corrélation importante ($p < 0,01$) a été également observée entre le chlore et le sodium ($r = 0,996$) et le potassium ($r = 0,931$). Nous rapportons aussi une corrélation positive ($r = 0,926$, $p = 0,00$) entre le taux de potassium et celui du sodium. Les taux du phosphore ont montré une corrélation négative ($r = -0,571$, $p = 0,03$) avec A_0 , tandis que Mg a montré une corrélation positive ($r = 0,547$, $p = 0,04$) avec P. Cependant, les concentrations de Mg et de Ca étaient corrélées de manière positive ($r = 0,655$, $p = 0,01$). Le Fer plasmatique était corrélé négativement avec le chlore ($r = -0,561$, $p = 0,03$), le potassium ($r = -0,593$, $p = 0,02$), le sodium ($r = -0,557$, $p = 0,03$), et A_0 ($r = -0,562$, $p = 0,03$) mais positivement avec le phosphore ($r = 0,543$, $p = 0,04$), le magnésium ($r = 0,605$, $p = 0,02$), et le calcium ($r = 0,798$, $p = 0,00$).

V.2.1.2.4 Paramètres de la reproduction

Le tableau 15 présente les différents paramètres de performances reproductives chez la race Arbia en fonction de la parité.

Tableau 15. Performances reproductives chez la race Arbia en fonction de la parité

	Primipares (n=11)		Multipares (n=10)		Total (n=21)	
Nombre des chèvres chevrotées	7		7		14	
Chèvres infertiles	0		2		2	
Chèvres avortés	4		1		5	
Age des chèvres à l'accouplement (M ±ET)	2 ± 0,00		7,42 ± 0,78		4,71 ± 3,28	
Poids des chèvres à l'accouplement (M ±ET)	20,85 ± 1,95		27,00 ± 4,76		24,19 ± 6,08	
Nombre des petits	8		7		15	
Sexe + nombre des petits	M	F	M	F	M	F
	4	4	4	3	8	7
Poids des chevreaux à la naissance (M ±ET)	2,84 ± 0,78		3,12 ± 0,54		2,98 ± 0,66	
Taux de fertilité	100%		80%		90,47%	
Taux de fécondité	72,72%		70%		71,42%	
Taux de prolificité	114,28%		100%		107,14%	
Taux d'avortement	36,36%		12,5%		26,31%	

Selon les résultats de cette étude (tableau 15), le poids des chèvres multipares au moment de l'accouplement était plus élevé que celui des femelles primipares (20,85 ± 1,95 et 27,00 ± 4,76 respectivement). Toutefois, les chevreaux des femelles multipares (n=7) avaient un poids à la naissance supérieur à celui des chevreaux des femelles primipares (n=8) (3,12 ± 0,54 et 2,84 ± 0,78, respectivement). Concernant les critères de reproduction pour les animaux étudiés, les femelles primipares étaient plus fertiles (100%), plus fécondes (72,72 %) et plus prolifiques (114,28 %) que les femelles multipares. Par contre, les résultats indiquent que les chèvres primipares ont eu un taux d'avortement élevé (36,36 %).

V.2.2 Espèce ovine

Au total, 224 échantillons de plasma sanguin de brebis Rembi (n = 128) et de brebis Ouled Djelal (n = 100) ont été examinés en ce qui concerne les niveaux de minéraux pendant la période d'accouplement et les différentes phases de gestation (1er tiers, 2ème tiers et 3ème tiers).

V.2.2.1 Race Rembi

L'ensemble des statistiques descriptives du profil minéral chez les brebis de la race Rembi (n = 32) pendant la phase œstrale et les différentes phases de gestation, ainsi que les variations entre les concentrations de chaque minéral pendant ces phases, est réuni dans le tableau 16. La signification statistique a été fixée à P < 0,05.

Tableau 16. Profil minéral chez les brebis de la race Rembi

Phase de reproduction	Œstrus	1 ^{er} tiers de gestation	2 ^{eme} tiers de gestation	3 ^{eme} tiers de gestation	P-value		
					P1 Vs P2	P2 Vs P3	P3 Vs P4
Minéraux	M ± ET	M ± ET	M ± ET	M ± ET			
Na (mmol/l)	268,19±48,98	229,91±44,56	192,35±34,48	213,91±55,73	***	***	*
K (mmol/l)	7,95±1,6	5,96±1,23	5,75±1,17	5,76±1,41	***	NS	NS
Cl (mmol/l)	211,83±36,64	180,42±35,24	152,2±27,64	168,63±43,37	***	***	*
P (mg/l)	41,18±12,69	41,35±11,6	42,11±13,15	49,98±20,27	NS	NS	**
Mg (mg/l)	9,48±3,87	8,71±2,71	10,78±3,06	11,05±4,18	NS	***	NS
Ca (mg/l)	35,16±13,79	38,99±16,0	59,08±20,01	49,46±19,14	NS	***	**
Fe (µg/dl)	126,47±153,79	54,08±26,3	160,86±201,88	100,57±77,27	*	**	NS

Moyenne ± écart type ; P. value. Na = Sodium; K = Potassium; Cl = chlore; P= Phosphore; Mg= Magnésium; Ca= Calcium; Fe = Fer. Clé : P1 : période œstrale ; P2 : 1^{er} tiers de gestation; P3 : 2^{eme} tiers de gestation ; P4 : 3^{eme} tiers de gestation. Ns = non significatif ; * = significatif à P < 0,05 ; ** = significatif à P < 0,01 ; *** = significatif à P < 0,001.

Selon le tableau **16**, les concentrations minérales chez les brebis de la race Rembi ont présenté des variations importantes d'une période à une autre du cycle reproductif. En ce qui concerne le sodium et le chlore, nous avons observé des variations hautement significatives ($P < 0,001$) entre P1 et P2, P2 et P3, ainsi qu'une faible différence ($P < 0,05$) entre P3 et P4. Par contre, aucune différence significative n'a été observée pour le potassium qu'entre P1 et P2. En outre, les niveaux de phosphore ont présenté une différence significative ($P < 0,01$) entre P3 et P4. Le taux de magnésium a montré une différence très significative ($P < 0,001$) entre P2 et P3, tandis que celui du calcium a montré une différence très significative ($P < 0,001$) entre P2 et P3 et une différence moyennement significative ($P < 0,01$) entre P3 et P4. En ce qui concerne le fer, des variations importantes ont été observées entre toutes les périodes du cycle.

V.2.2.2 Race Ouled Djelal

Le tableau 17 présente l'ensemble des données statistiques descriptives du profil minéral chez les brebis de la race Ouled Djelal ($n = 25$) pendant la phase œstrale et les différentes phases de gestation, ainsi que les fluctuations des concentrations de chaque minéral par phase. Nous avons établi une signification statistique de $P < 0,05$.

Tableau 17. Profil minéral chez les brebis de la race Ouled Djelal

Phase de reproduction	Œstrus	1 ^{er} tiers de gestation	2 ^{eme} tiers de gestation	3 ^{eme} tiers de gestation	P-value		
					P1 Vs P2	P2 Vs P3	P3 Vs P4
Minéraux	M ± ET	M ± ET	M ± ET	M ± ET			
Na (mmol/l)	244,75±47,07	217,71±36,37	188,88±28,38	229,99±59,82	***	***	**
K (mmol/l)	7,2±1,33	5,78±1,09	5,63±0,72	6,28±1,6	***	NS	NS
Cl (mmol/l)	194,9±35,41	172,33±29,54	149,75±21,7	181,72±44,62	***	**	**
P (mg/l)	39,54±17,41	42,28±17,33	36,99±11,43	44,62±28,11	NS	NS	NS
Mg (mg/l)	10,33±3,15	10,21±3,98	10,75±2,54	9,13±3,45	NS	NS	*
Ca (mg/l)	37,01±15,12	41,07±14,6	56,23±19,13	40,41±17,64	NS	***	**
Fe (µg/dl)	72,07±64,98	71,73±31,13	122,08±107,29	59,36±41,74	NS	*	*

Moyenne ± écart type ; P. value. Na = Sodium ; K = Potassium ; Cl = Chlore ; P = Phosphore ; Mg = Magnésium ; Ca = Calcium ; Fe = Fer. Clé : P1 : période œstrale ; P2 : 1^{er} tiers de gestation ; P3 : 2^{eme} tiers de gestation ; P4 : 3^{eme} tiers de gestation. Ns = non significatif ; * = significatif à $P < 0,05$; ** = significatif à $P < 0,01$; *** = significatif à $P < 0,001$.

Les concentrations minérales chez les brebis de la race Ouled Djelal ont varié considérablement d'une période à l'autre du cycle reproductif, comme le montre le tableau 17. Quant au sodium, nous avons constaté des différences très significatives ($P < 0,001$) entre P1 et P2 et une différence moyennement significative ($P < 0,01$) entre P2 et P3 et P3 et P4. En revanche, il n'y a pas eu de différence significative pour le potassium, sauf entre P1 et P2. Pour le chlore, on a observé une différence hautement significative entre P1 et P2, ainsi qu'une différence moyennement significative entre P2 et P3 ; P3 et P4. De plus, les niveaux de phosphore ne sont pas significativement différents. Le magnésium montre une différence significative ($P < 0,05$) entre P3 et P4, tandis que le calcium montre une différence très significative ($P < 0,001$) entre P2 et P3 et une différence moyennement significative ($P < 0,01$) entre P3 et P4. Par rapport le fer, nous avons rapporté une différence faiblement significative ($P < 0,05$) entre P2 et P3, ainsi qu'entre P3 et P4.

V.2.2.3 L'effet de la race sur le profil minéral chez les brebis

Rembi et Ouled Djelal pendant les phases de la reproduction

Les variations des niveaux de minéraux de chaque race lors des différentes phases de reproduction ont été analysées à l'aide du test t, dont les résultats sont présentés dans le tableau 18. La signification statistique a été fixée à $P < 0,05$.

Tableau 18. L'effet de la race sur le profil minéral chez les brebis de la race Rembi et Ouled Djelal

Minéraux	Race	Stade de la reproduction			
		Estrus	1 ^{er} tiers de gestation	2 ^{ème} tiers de gestation	3 ^{ème} tiers de gestation
		<i>P-value</i>			
Na (mmol/l)	R (n=32)	0,07	0,27	0,69	0,3
	OD (n= 25)				
K (mmol/l)	R (n=32)	0,06	0,56	0,65	0,2
	OD (n= 25)				
Cl (mmol/l)	R (n=32)	0,08	0,36	0,72	0,27
	OD (n= 25)				
P (mg/l)	R (n=32)	0,68	0,81	0,13	0,41
	OD (n= 25)				
Mg (mg/l)	R (n=32)	0,38	0,1	0,96	0,07
	OD (n= 25)				
Ca (mg/l)	R (n=32)	0,63	0,61	0,59	0,07
	OD (n= 25)				
Fe (µg/dl)	R (n=32)	0,07	0,02	0,39	0,02
	OD (n= 25)				

R : Rembi ; OD : Ouled Djelal.

Le tableau 18 illustre l'impact de la race sur le profil minéral des brebis Rembi et Ouled Djelal pendant les phases de reproduction. Nous avons constaté une différence significative ($P < 0,05$) pour le fer pendant le premier tiers et le dernier tiers de la gestation. D'autre part, les autres minéraux ne présentaient pas de différence significative au cours de toutes les phases étudiées.

V.3 Supplémentation

Cette étude a porté sur 57 brebis gestantes cliniquement en bonne santé, âgées de 2 à 4 ans et présentant un score corporel de niveau 3 et 4, déparasité, de la fin de la gestation au post-partum. Tous les groupes ont été maintenu à température ambiante et avec une photopériode naturelle pendant la durée de l'expérience de 30 jours. Les groupes 1, 2 et 4 ont été séparés dans des box et gardés dans une stalle entravée, et chacun a reçu un rapport de mélange calculé une fois le matin de grains de son et d'orge ; groupe 1 (n=15) a reçu un supplément de 7,5 g de MO /Jour/ femelle, groupe 2 (n=18) ont reçu un supplément de 15 g de MO /Jour/ femelle, groupe 4 (n=13) n'a reçu aucun supplément ; Le groupe 3 (n = 11), en revanche, était nourri uniquement au pâturage à base d'herbe.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SPSS logique (version 22.0 ; IBM, États-Unis), les résultats étant exprimés en moyenne \pm écart standard. Les variations statistiques entre les groupes, les niveaux de minéraux à la fin de la gestation et en post-partum, ainsi que le poids des nouveaux-nés ont été évalués par le test T pour échantillons appariés.

A l'aide de la spectrophotométrie S-XRF, les feuilles et les tiges de *Moringa oleifera* ont été soumises à un bombardement de rayons X pour évaluer la concentration massique des différents composants végétaux (**tableau 19**).

Tableau 19. Concentration massique des différents composants de *Moringa oleifera*

Élément	% massique
Carbone	58,8236
Azote	1,2093
Oxygène	32,8537
Sodium	0,1419
Magnésium	0,443
Aluminium	0,2026
Silicium	0,4789
Phosphore	0,345
Soufre	0,9899
Chlore	0,3139
Potassium	1,8545
Calcium	2,1183
Titane	0,015
Chrome	0,0344
Manganèse	0,0102
Fer	0,1331
Nickel	0,0036
Cuivre	0,0018
Zinc	0,0063
Brome	0,0019
Rubidium	0,0018
Strontium	0,0173

Selon les données du tableau 19, les feuilles et les tiges de *Moringa oleifera* ont présenté des niveaux élevés de carbone, d'oxygène, de calcium, de potassium et d'azote (58,8236 ; 32,8537 ; 2,1183 ; 1,8545 ; 1,2093).

V.3.1 Effet de la supplémentation en *Moringa oleifera* et du pâturage sur le profil minéral

Au total, nous avons analysé **114** échantillons de plasma sanguin de brebis femelles afin de mesurer leurs taux de minéraux. Les tableaux **20** et **21** présentent les moyennes (\pm ET) des paramètres minéraux, qui reflètent l'impact de *Moringa oleifera* et du pâturage à la fin de la gestation et après l'agnelage, avec des significations statistiques.

V.3.1.1 Effet de la supplémentation en *Moringa oleifera* et du pâturage sur le profil minéral en fin de gestation

Tableau 20. Effet de la supplémentation en *Moringa oleifera* et du pâturage sur le profil minéral des brebis en fin de gestation

Groupes	Groupe 1 N=15	Groupe 2 N=18	Groupe 3 N=11	Groupe 4 N=13	P value		
					G1 Vs G4	G2 Vs G4	G3 Vs G4
Minéraux	M \pm ET	M \pm ET	M \pm ET	M \pm ET			
Sodium (mmol/l)	220,43 \pm 52,25	208,92 \pm 54,36	263,75 \pm 65,53	211,63 \pm 51,42	NS	NS	*
Potassium (mmol/l)	5,93 \pm 1,41	5,75 \pm 1,17	6,95 \pm 2,08	5,78 \pm 1,38	NS	NS	NS
Chlore (mmol/l)	174,91 \pm 42,11	163,05 \pm 39,07	206,78 \pm 47,77	169,7 \pm 41,20	NS	NS	*
Phosphore (mg/l)	40,88 \pm 17,25	56,67 \pm 30,14	41,64 \pm 12,17	42,95 \pm 19,58	NS	NS	NS
Magnésium (mg/l)	9,07 \pm 3,14	11,18 \pm 3,99	9,58 \pm 4,27	10,60 \pm 4,45	NS	NS	NS
Calcium (mg/l)	40,64 \pm 12,68	48,21 \pm 19,84	31,34 \pm 13,53	56,14 \pm 20,84	***	NS	***
Fer (μ g/dl)	58,90 \pm 29,49	91,95 \pm 62,85	60,77 \pm 47,70	118,24 \pm 96,39	***	NS	**

Les valeurs sont moyennes \pm écart type ; Groupe 1 : complété par 7,5 g de MO /Jour/ femelle, Groupe 2 : complété par 1,5 g de MO /Jour/ femelle, Groupe 3 : nourrie par le pâturage (100%), Groupe 4 : sans supplémentation ; Valeur P : Ns = non significatif ; * = significatif à P < 0, 05 ; ** = significatif à P < 0, 01 ; *** = significatif à P < 0,001.

Le tableau 20 montre que, les niveaux de calcium et de fer dans le sang des groupes 1 et 4 étaient très différents pendant le dernier mois de la gestation ($P < 0,001$). En outre, les concentrations de sodium et de chlore étaient significatives ($P < 0,05$) ; les concentrations de calcium étaient hautement significatives ($P < 0,001$) et les concentrations de fer étaient moyennement significatives ($P < 0,01$) entre les groupes 3 et 4.

V.3.1.2 Effet de la supplémentation en *Moringa oleifera* et du pâturage sur le profil minéral après l'agnelage

Tableau 21. Effet de la supplémentation en *Moringa oleifera* et du pâturage sur le profil minéral pendant la phase post-partum chez les brebis

Groupes	Groupe 1 N=15	Groupe 2 N=18	Groupe 3 N=11	Groupe 4 N=13	P value		
					G1 Vs G4	G2 Vs G4	G3 Vs G4
Minéraux	M ± ET	M ± ET	M ± ET	M ± ET			
Sodium (mmol /l)	205,76 ± 30,88	210,58 ± 33,63	198,40 ± 39,58	191,52 ± 25,50	NS	*	NS
Potassium (mmol /l)	5,85 ± 0,74	5,80 ± 0,98	5,37 ± 0,77	5,38 ± 0,82	***	NS	NS
Chlore (mmol /l)	163,98 ± 24,55	166,40 ± 26,66	152,71 ± 30,24	151,70 ± 23,44	NS	*	NS
Phosphore (mg/l)	49h40±16h09	53,89 ± 21,75	54h00±12h42	58,15 ± 20,59	NS	NS	NS
Magnésium (mg/l)	12,56 ± 4,49	11,62 ± 3,57	12,47 ± 2,58	12,98 ± 3,40	NS	NS	NS
Calcium (mg/l)	50,50 ± 17,83	46,53 ± 17,40	50h11±18h00	56,69 ± 15,48	NS	*	NS
Fer (µg/dl)	87,09 ± 90,49	133,80 ± 163,76	111,25 ± 87,13	121,12 ± 120,80	**	NS	NS

Les valeurs sont moyennes ± écart type ; Groupe 1 : complété par 7,5 g de MO /Jour/ femelle, Groupe 2 : complété par 1,5 g de MO /Jour/ femelle, Groupe 3 : nourrie par le pâturage (100%), Groupe 4 : sans supplémentation ; Valeur P : Ns = non significatif ; * = significatif à $P < 0,05$; ** = significatif à $P < 0,01$; *** = significatif à $P < 0,001$.

Le tableau **21** montre que, pendant la période post-partum, une différence significative en potassium ($P < 0,001$) et en fer ($P < 0,01$) a été observée entre le groupe 1 et le groupe 4. Par ailleurs, la comparaison entre le groupe 2 et le groupe 4 a révélé une distinction notable ($P < 0,05$) en sodium, chlore et calcium.

V.3.1.3 Variation des paramètres minéraux avant et après supplémentation

Les taux moyens de minéraux plasmatiques des brebis des 4 groupes expérimentaux avant et après supplémentation sont présentés dans des graphiques mettant en évidence l'impact de *Moringa oleifera* et du pâturage au cours de l'expérimentation.

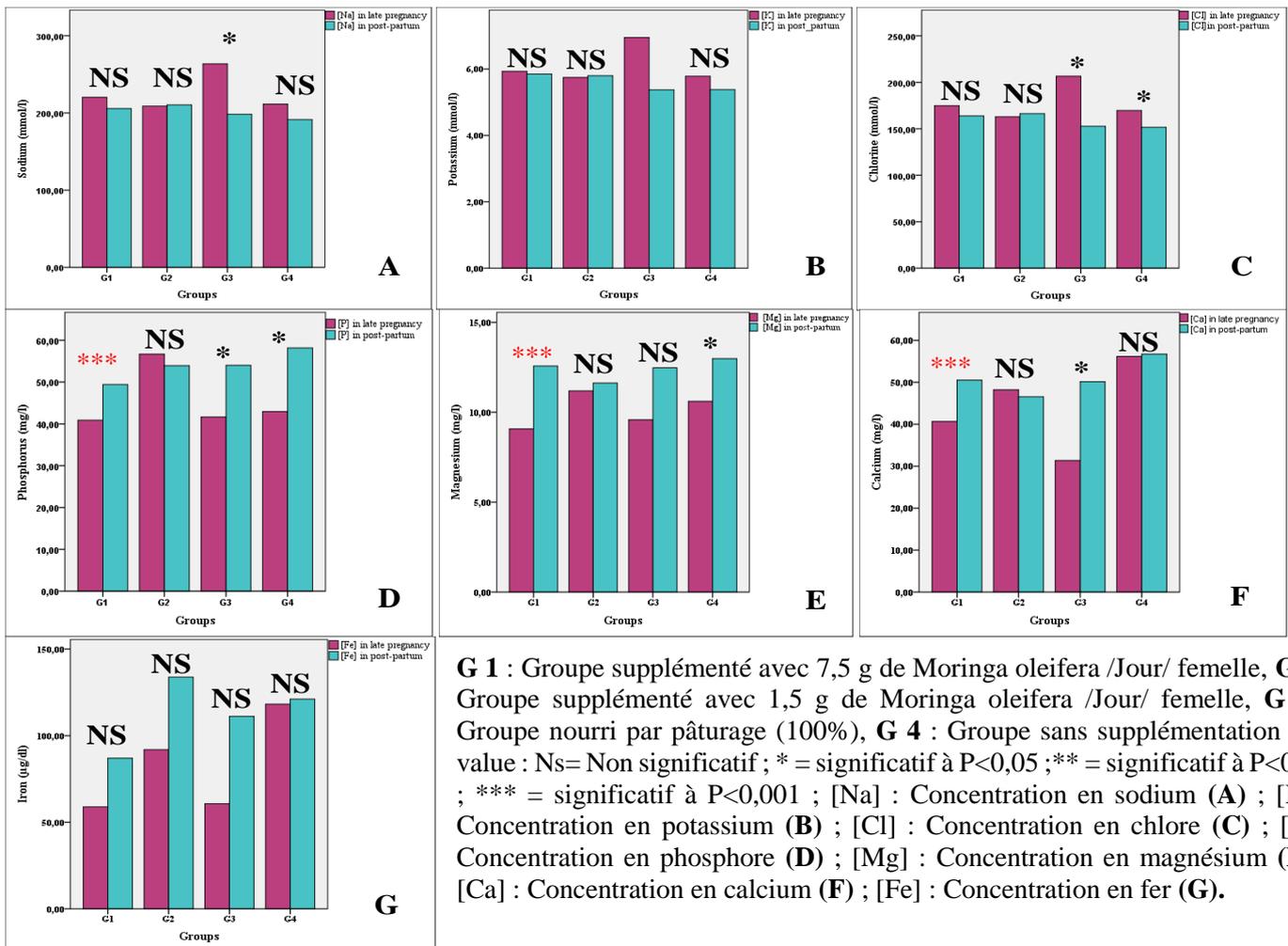


Figure 28 : Effet de différentes proportions de supplémentation en *Moringa oleifera* et du pâturage sur les concentrations plasmatiques minérales chez les brebis.

Les résultats indiquent que les concentrations de Na du groupe 3 ont diminué de manière significative ($P < 0,05$) alors que les groupes supplémentés n'ont montré aucune variation. Néanmoins, il y avait une variation sensiblement plus faible ($P < 0,05$) des concentrations de Cl dans les deux groupes 3 et 4. Le groupe 1 a connu une très forte augmentation ($P < 0,001$) des niveaux de P, tandis que les groupes 3 et 4 ont également montré une différence significative ($P < 0,05$). De plus, le groupe 1 a montré une différence d'augmentation très significative ($P < 0,001$) dans les concentrations de Mg, tandis que le groupe 4 a montré une différence significative ($P < 0,05$). Pour les groupes 1 et 3, il y avait une augmentation statistiquement significative des taux plasmatiques de Ca. Les résultats en Fe dans chaque groupe ne différaient pas significativement au cours de l'expérimentation.

V.3.2 Effet de la supplémentation en *Moringa oleifera* sur le poids des agneaux

Les tableaux 22 et 23 montrent les données statistiques descriptives du poids des agneaux à la naissance, ainsi que les variations statistiquement significatives entre les groupes bénéficiant de suppléments et ceux qui n'en ont pas supplémentés.

Tableau 22. Effet de la supplémentation en *MO* (7,5%) sur le poids des agneaux à la naissance

	Groupe sans supplémentation				Groupe supplémenté				<i>P-value</i>
	N	Min.	Moyenne \pm ET	Max.	N	Min.	Moyenne \pm ET	Max.	
Poids des nouveaux-nés	18	2,80	4,60 \pm 1,24	6,40	20	2,40	4,36 \pm 1,28	6,42	0,41
- Femelle	11	2,80	4,43 \pm 1,31	6,38	5	2,71	3,38 \pm 0,55	4,10	*
- Mâle	7	3,08	4,87 \pm 1,18	6,40	15	2,40	4,68 \pm 1,30	6,42	0,59
Poids des agneaux (gestation simple)	9	2,83	5,19 \pm 1,35	6,40	10	3,7	5,34 \pm 0,89	6,42	0,59
Poids des agneaux (gestation multiple)	9	2,80	4,01 \pm 0,83	5,25	10	2,40	3,37 \pm 0,71	4,65	0,92

Tableau 23. Effet de la supplémentation en *MO* (15%) sur le poids des agneaux à la naissance

	Groupe sans supplémentation				Groupe supplémenté				<i>P value</i>
	N	Min.	Moyenne ± ET	Max.	N	Min.	Moyenne ± ET	Max.	
Poids des nouveaux-nés	18	2,80	4,60 ± 1,24	6,40	22	2,91	4,87 ± 1,38	8,70	0,35
- Femelle	11	2,80	4,43 ± 1,31	6,38	10	2,91	4,45 ± 1,29	6,15	0,95
- Mâle	7	3,08	4,87 ± 1,18	6,40	12	3,69	5,23 ± 1,41	8,70	0,39
Poids des agneaux (gestation simple)	9	2,83	5,19 ± 1,35	6,40	14	3,30	5,58 ± 1,22	8,70	0,24
Poids des agneaux (gestation multiple)	9	2,80	4,01 ± 1,00	5,25	8	2,91	3,64 ± 0,49	4,20	0,28

Selon les données du tableau 22, il a été observé une baisse significative ($P < 0,05$) du poids à la naissance des femelles du Groupe 1 qui ont reçu un supplément de 7,5 g de *Moringa oleifera* par jour/femelle par rapport aux agneaux de même naissance du groupe sans supplémentation. Par contre, le tableau 23 ne présente aucune variation significative appréciable ($P > 0,05$) entre le groupe 2, qui a été supplémenté avec 1,5 g de *Moringa oleifera* femelle/jour/, et le groupe témoin non traité.

V.4 Profil minéral des males caprins et ovins pendant l'accouplement

Les tableaux 24 et 25 présentent les variations minérales et hormonales (testostérone) des mâles ovins (n = 20) et caprins (n = 7) des exploitations étudiées pendant la période d'accouplement.

V.4.1 Espèce ovine

Tableau 24. Les variations minérales, hormonale et le périmètre scrotal des béliers de la race Ouled Djelal et Rembi pendant la phase d'accouplement

Race	Ouled Djelal (N = 10)	Rembi (N = 10)
Paramètres	Moyenne ± ET	Moyenne ± ET
Sodium (mmol /l)	233,22 ± 37,83	224,04 ± 25,37
Potassium (mmol /l)	6,27 ± 0,96	6,06 ± 0,71
Chlore (mmol /l)	185,65 ± 29,17	179,44 ± 21,64
Phosphore (mg/l)	49,68 ± 22,73	55,6 ± 19,64
Magnésium (mg/l)	9,69 ± 4,65	10,97 ± 5,07
Calcium (mg/l)	32,95 ± 14,24	34,69 ± 15,15
Fer (µg/dl)	61,39 ± 30,27	144,19 ± 110,97
Testostérone (ng/ml)	4,31 ± 4,02	2,96 ± 2,65
Périmètre scrotal (cm)	24,5	24,3

Les électrolytes chez les béliers de la race Ouled Djelal ont été enregistrés à des taux plus élevés que ceux de la race Rembi, comme le montre le tableau 24. De plus, la race Rembi a présenté des niveaux plus élevés de phosphore, de magnésium, de calcium et de fer que la race Ouled Djelal. Les béliers de la race Ouled Djelal ont une teneur en testostérone supérieure à celle de la race Rembi (4,31 ng/ml contre 2,96 ng/ml) et nous avons noté que les 2 races ont presque le même périmètre scrotal (24,5 cm ; 24,3 cm).

V.2.2 Espèce caprine

Tableau 25. Les variations minérales, hormonale et le périmètre scrotal des boucs de la race Saanen, Alpine et Arbia pendant la phase d'accouplement

Race	Saanen (N = 3)	Alpine (N = 2)	Arbia (N = 2)
Paramètres	Moyenne ± ET	Moyenne ± ET	Moyenne ± ET
Sodium (mmol /l)	192,4 ± 38,29	174,7 ± 7,91	206,95 ± 27,36
Potassium (mmol /l)	7,16 ± 1,14	6,18 ± 1,32	6,08 ± 0,65
Chlore (mmol /l)	156,73 ± 34,76	139,75 ± 3,74	168,85 ± 25,1
Phosphore (mg/l)	69,66 ± 17,48	50,31 ± 10,87	59,61 ± 2,09
Magnésium (mg/l)	16,96 ± 6,73	12,7 ± 0,17	10,12 ± 4,26
Calcium (mg/l)	61,97 ± 13,8	57 ± 14,66	33,96 ± 13,89
Fer (µg/dl)	97,47 ± 34,56	74,29 ± 34,08	43,47 ± 10,05
Testostérone (ng/ml)	0,72 ± 0,93	2,27 ± 3,03	5,61 ± 1,37
Périmètre scrotal (cm)	30,8	26,75	18

Selon le tableau 25, la race Saanen présente des niveaux élevés de sodium, de phosphore, de magnésium, de calcium et de fer par rapport aux deux autres races. En revanche, les boucs de la race Alpine ont une teneur plus élevée en potassium et en chlore que les boucs de la race Saanen et Arbia. Le taux de testostérone des boucs de la race Arbia est nettement supérieur à celui des boucs de la race Alpine et de la race Saanen (5,61 ng/ml ; 2,27 ng/ml ; 0,72 ng/ml) ; en outre, le périmètre scrotale à été petit pour les boucs de la race Arbia (18cm) par rapport les boucs de la race Alpine (26,75cm) et la race Saanen (30,8cm).

Chapitre VI

DISCUSSION

Chapitre VI : Discussion

VI.1 Cheptel national des petits ruminants

Les petits ruminants en Algérie, particulièrement dans les zones montagneuses, à l'instar des pays d'Afrique du Nord et du Sahel, contribuent de manière significative à la sécurité alimentaire, à l'économie des ménages montagnards, à leur maintien en territoires pauvres et peu accessibles, et à l'exode rural (**Alary et al., 2011; Bengoumi et al., 2014; Madani et al., 2015**).

D'après nos informations, il y a eu environ 4 à 5 millions de têtes caprines en Algérie au cours des 11 années faisant objet de notre enquête (2010-2020), toutes races confondues. Ils se concentrent principalement dans le Sahara algérien. Selon **Mouhous et al. (2013)**, il est évident que l'élevage caprin compte environ 4,5 millions de têtes. Ils sont élevés dans toutes les zones géo-climatiques, principalement présents dans les zones montagneuses au nord, mais la plupart de l'effectif est localisé dans les zones steppiques et subdésertiques (**Moustari, 2008 ; Saidani et al., 2019**).

Il convient de souligner qu'en Algérie, 58 % des caprins sont des chèvres, avec un total de 2,8 millions de têtes en 2020. Toutefois, seulement 6 % des caprins sont des boucs et le nombre le plus élevé pour ces années est de 326 176 individus. Les femelles sont donc plus nombreuses que les mâles au niveau national. Sur le plan économique, la chèvre assure le revenu et l'approvisionnement en lait et en viande d'une grande partie de la population rurale. Ce genre d'élevage en Algérie est assez répandu dans les régions montagneuses, en particulier en Kabylie, et est généralement pratiqué en mode extensif (**Kadi et al., 2016**). En outre, l'élevage caprin dans les montagnes de la Kabylie devrait être encouragé, la chèvre étant très rustique et capable d'exploiter et de valoriser les végétaux les plus pauvres, presque inutilisables par les ovins ou les bovins (**Mouhous et al., 2013**).

D'après les données rapportées au cours de notre enquête sur le cheptel national des petits ruminants, nous avons constaté une augmentation de 1 million (5%) de l'effectif national ovin d'une année à l'autre, atteignant 30,9 millions de têtes en 2020 (pour toutes les races). Il est important de noter que 62,4% du total ovin est constitué de brebis, soit 19,2 millions de têtes en 2020, tandis que 4 % des béliers représentent 1,1 million. De plus, les sujets de 10 mois ont entre 2,2 et 3 millions de têtes, avec une plus grande proportion d'agnelles (10%) que d'agneaux (9%).

Quant aux sujets de 10 à 18 mois, le cheptel compte 1,7 à 2,5 millions de têtes, dont 8% d'antenaïses et 7% d'antenaïs. Donc au niveau national, les femelles ovines sont plus nombreuses que les mâles. Cette population est majoritairement présente dans l'Atlas saharien.

D'après les recherches de **Djaout et al. (2017)**, il y a un cheptel avoisinant les 20 millions de têtes d'ovins, dont neuf races génétiquement bien identifiées : Ouled Djellal, Rembi, Hamra, Berbère, Barbarine, D'Man, Sidaou, Tâadmit et Tazegzawt. Ces races locales qui ont évolué depuis l'antiquité dans les conditions agroécologiques algériennes (steppiennes et sahariennes) démontrent une grande adaptabilité grâce à leur résilience, leur prolificité et leur capacité à produire de la viande, du lait et de la laine dans la production nationale de viandes rouges et de 10 à 15% dans le produit intérieur brut agricole, l'élevage ovin joue un rôle socioculturel important. Plusieurs autres races et populations locales sont méconnues, à côté de ces races plus ou moins bien définies (**Madani et al., 2015**). Il se pratique dans les différentes zones climatiques d'Algérie, depuis la côte méditerranéenne jusqu'aux oasis du Sahara. Cette diversité pédoclimatique offre à l'Algérie une extraordinaire diversité de races ovines (**Moula, 2018**).

En Algérie, les ovins étaient principalement élevés dans les zones moins difficiles, telles que les plaines. Ils étaient principalement exploités pour leur viande et leur laine, comme dans les régions de grands élevages ovins (**Yabrir et al., 2015**). Dans l'élevage ovin, le sylvopastoralisme était nettement moins répandu. De la même manière, dans d'autres parties de l'Algérie, l'élevage caprin est fréquemment lié à celui des ovins (**Sahraoui et al., 2016**).

VI.2 Profil minéral et paramètres de la reproduction

VI.2.1 Espèce caprine

VI.2.1.1 Race Alpine et Saanen

De manière générale, l'évaluation du statut en macro-minéraux et en oligo-éléments des animaux d'élevage est un outil précieux dans la gestion de la santé des troupeaux et des animaux individuels. Une évaluation de l'état minéral des ruminants peut être utile dans les situations où la productivité et les performances de reproduction sont inférieures à la moyenne. Plus généralement, il est important d'éviter les carences, les excédents d'approvisionnement et les maladies nutritionnelles et de soutenir le bien-être animal (**Kincaid, 2000 ; Humann-Ziehank et al., 2013**).

Période d'œstrus

Dans cette étude, les résultats du profil minéral en période d'œstrus n'ont enregistré aucune différence significative ($P > 0,05$) pour les niveaux de Na, K, Cl, P et Fe. Alors que les concentrations de Ca et de Mg ont montré une différence très significative ($P < 0,01$) entre les chèvres Alpine et Saanen. **Kumar et al. (2003)**, suggèrent que les facteurs hormonaux ou les oligo-éléments eux-mêmes sont responsables de l'activation des enzymes et des systèmes endocriniens des animaux pubères et sexuellement matures afin de déclencher l'activité du système hypothalamo-hypophysaire et gonadique pour amener l'animal en cyclicité. Les oligo-éléments pourraient avoir provoqué une élévation du rapport FSH et FSH: LH, entraînant une folliculogénèse. Les concentrations de macro et micro minéraux sont peut-être essentielles au processus ovulatoire normal (**Parmar et al., 2015**).

Début de gestation

Durant cette période, seulement Les niveaux de Ca ont montré une différence très significative ($P < 0,01$). Le calcium peut être transporté jusqu'au fœtus par certains médiateurs, exprimés dans le placenta, provoquant ainsi une baisse de la concentration sanguine de cet élément au cours de la grossesse (**Asma et al., 2020 ; Derar et al., 2022**). Il a été rapporté que de nombreuses hormones (telles que les œstrogènes, les corticostéroïdes, l'hormone de croissance, le glucagon et la thyroxine) influencent l'absorption du Ca (**Uslu et al., 2017**). Comme déjà indiqué, les variables pour tous les statuts physiologiques par race, les quelques paramètres biochimiques significativement différents, à savoir Ca, Cl et Na, pourraient également être dus à un effet génétique (**Waba et al., 2023**).

De manière générale, plusieurs facteurs autres qu'une quantité ou un apport insuffisant ont un impact sur la concentration en macro-minéraux et oligo-éléments. Par exemple, l'espèce, la race, le sexe, l'âge, l'état physiologique (stade de gestation et de lactation), l'inflammation, les antagonistes, la concentration dans le fourrage (c'est-à-dire l'espèce fourragère, l'âge de la plante, le type de sol, le climat, les pratiques de gestion) et la saison affectent la biodisponibilité des minéraux et peuvent conduire à une carence secondaire (**Ramírez-Pérez et al., 2000 ; Khan et al., 2007**).

Mi-gestation

Cette période a été caractérisée par une différence significative ($P < 0,05$) pour les concentrations de K et de Mg et une différence très significative ($P < 0,01$) pour le Ca, sachant que les pierres à lécher et la poudre de calcium sont distribuées dans l'alimentation animale. L'hyperkaliémie pourrait être un facteur important dans le développement de l'hypomagnésémie. En fait, plusieurs études ont démontré que les ruminants consommant des régimes riches en potassium subissent une réduction significative de l'absorption du magnésium par le tractus gastro-intestinal. Cet effet semble dépendre de la dose (**Hernández, Benedito et Castillo, 2020**). Il est clair qu'il existe une relation étroite entre l'état nutritionnel des oligo-éléments avant la conception, la conception réussie et la progression saine de la gestation (**Cetin et al., 2009 ; Ceko et al., 2016**).

Selon certains auteurs, la concentration d'éléments dans le sang est également influencée par le régime alimentaire et fortement affectée par le contenu nutritionnel des aliments (**Schweinzer et al., 2017**). De plus, le contrôle des niveaux de Ca dans le sang est également affecté par de nombreux facteurs, parmi lesquels les changements hormonaux pendant la gestation seraient les plus efficaces (**Rosol et Capen, 1997**). Cette race s'adaptait au nouvel environnement (race Alpine). En outre, il est conclu que cette diminution en Magnésium à mesure que la gestation avance et pendant la période post-partum est due à sa forte demande pour la croissance du fœtus et la production de lait (**Haroon et al., 2022**).

Fin de gestation

Les résultats du profil minéral des chèvres Saanen et Alpine quelques jours avant la parturition ont révélé des écarts notables dans les taux plasmatiques de Na et K ainsi que des changements extrêmement notables dans Cl, P, Ca et Fe ($P < 0,01$). En outre, la réduction des oligo-éléments pendant la gestation peut être la conséquence d'une hémodilution due à l'expansion du plasma maternel, d'un transport accru de ces éléments vers le fœtus et d'une utilisation accrue pour la synthèse de protéines antioxydantes dépendantes des éléments, nécessaires pour lutter contre l'augmentation de l'apport en oligo-éléments et les demandes oxydatives de la gestation (Spencer, 2015).

L'effet d'une carence en fer sur la gestation chez la mère et plus particulièrement, son impact négatif sur la croissance et le développement du fœtus, a fait l'objet de nombreuses études (Beard, 1994). La gestation augmente les besoins en fer à près de 6 mg/jour au cours des deuxième et troisième trimestres, en raison des taux de croissance élevés du placenta et du fœtus et de l'expansion de la masse de globules rouges maternels (Bothwell et al., 1979). Peu d'études ont été publiées sur l'effet du fer sur la fertilité féminine ; cependant, le consensus préliminaire est qu'un apport plus important en fer, soit en raison d'un apport alimentaire accru, soit d'une supplémentation, augmente les niveaux de fertilité chez les femmes, avec le commentaire que l'utilisation par l'ovaire de cet élément est la raison probable de cette observation (Buhling et al., 2013).

Dans une vaste étude portant sur 18 555 femmes, Chavarro et al. (2006) ont étudié si la prise de suppléments de fer ou un apport plus important en fer hémique et non hémique total était associé à un risque plus faible d'infertilité ovulatoire. Les femmes qui consommaient du fer sous forme de suppléments avaient un risque significativement plus faible d'infertilité ovulatoire que les femmes qui n'en consommaient pas. Plus précisément, l'apport total en fer non hémique, consommé sous forme de multivitamines et de suppléments de fer, était inversement associé au risque d'infertilité ovulatoire, alors que l'apport en fer hémique n'était pas lié à l'infertilité ovulatoire dans les analyses ajustées multi variées (Chavarro et al., 2006).

La baisse enregistrée du Fer sérique en fin de gestation pourrait être liée à la forte demande de cet élément par le fœtus (Reece, 1991), car la concentration en fer dans le foie du fœtus augmente continuellement avec l'avancée de la gestation et atteint des niveaux élevés au cours du cinquième mois chez le mouton (Rallis et al., 1987). Une augmentation du nombre de fœtus stimule cette accumulation (Gürdoğan et al., 2006).

Fe et Zn sont tous deux impliqués dans l'épithélialisation du fœtus (Nawito et al., 2015 ; Dalai et al., 2017 ; Makhlouf et al., 2020). Bien qu'une augmentation soit marquée dans les taux sériques de Fe en fonction de la croissance fœtale particulièrement au cours du dernier trimestre de la gestation, tandis que les niveaux diminuaient immédiatement avant l'agnelage des brebis d'Akkaraman (Uslu et al., 2017).

Comme mentionné précédemment, les variations pour tous les statuts physiologiques par race, les paramètres biochimiques qui présentaient des différences significatives, à savoir Ca, Cl et Na, pourraient aussi être attribuables à un effet génétique (Aluwaop, Mohammed et Opeyemi, 2020). La présence de Ca, K, Na dans le sang est prévue pour la production de lait pendant la lactation et selon l'alimentation et d'autres conditions, leurs concentrations (dans le sang) peuvent être plus ou moins élevées à ce stade. (Aluwaop, Mohammed et Opeyemi, 2020).

Période post-partum

Les mêmes résultats ont été observés chez les chèvres Kilis où la concentration de calcium était plus élevée pendant la gestation que pendant la période post-partum. Cela est dû au fait que la demande nutritionnelle en calcium et en phosphore est élevée pendant la gestation pour le développement du fœtus et du colostrum. Les données sur le phosphore dans les travaux en cours sont étroitement liées aux travaux antérieurs dans lesquels la concentration de phosphore le jour du chevrotage était de $8,86 \pm 2,14$ mg/dl et une forte baisse a été observée le lendemain (Amer, Salem et Al-Hozab, 1999). Cette différence est peut-être due au rôle biochimique du phosphore pendant la période de lactation. Haroon et al., 2022, ont indiqué que cela pourrait être dû à l'association du phosphore dans le lait et le sérum, et le phosphore du lait a un effet important sur les taux de phosphore dans le sang (Haroon et al., 2022).

Performances reproductives

Par rapport aux chèvres Saanen, les chèvres Alpine se sont révélées plus prolifiques. Les résultats de cette étude sont différentes à ceux de Bernacka et al. (2013) et Pardal et al., (2017) qui rapportaient que la prolificité était légèrement plus élevée chez la race Saanen que chez la race Alpine lors des saillies d'août. La prolificité augmentait avec le nombre de parturitions, atteignant sa valeur maximale lors de la parturition 3 (Pardal et al., 2017). Néanmoins, comparées aux chèvres Saanen, les chèvres Alpines avaient un taux de fécondité plus élevé. Ce résultat était similaire aux résultats rapportés par (Bernacka et al., 2013).

VI.2.1.2 Race Arbia

En général, un certain nombre de facteurs autres qu'un apport ou une quantité insuffisante affectent la concentration en oligo-éléments et en macro minéraux. Les facteurs suivants, par exemple, peuvent avoir un impact sur la biodisponibilité des minéraux et entraîner une carence secondaire : espèce, race, sexe, âge, état physiologique (par exemple stade de gestation et de lactation), inflammation, antagonistes, concentration dans le fourrage (par exemple, espèces fourragères, âge de la plante, type de sol, climat, pratiques de gestion) et saison (**Khan et al., 2007 ; Russell et Roussel, 2007 ; Herdt et Hoff, 2011 ; Schweinzer et al., 2017**).

Effets de la parité sur les paramètres minéraux au cours des différentes étapes de la reproduction

Les résultats des paramètres minéraux chez les primipares et les multipares de la race Arbia dans les différentes phases de reproduction (période d'accouplement, gestation et période post-partum) ont indiqué que tous les niveaux de paramètres sanguins plasmatiques étudiés présentaient des variations différentes.

Dans cette étude, les concentrations les plus élevées d'électrolytes sodium (Na), potassium (K) et chlorure (Cl) ont été observées au milieu de la gestation (3-4 mois). Contrairement aux résultats de **Dakka et Abd El-Ali (1992)** qui affirment que les concentrations plasmatiques de Na des chèvres Arbia en gestation étaient plus élevées avant la gravidité. Cependant, la participation des ions Cl, K et Na à la fécondation, à l'activation des ovocytes, à la viabilité des follicules et à leur activité dans la synthèse des œstrogènes contribue à la diminution substantielle de la concentration de ces paramètres pendant la période d'accouplement. Ainsi, lors de l'activation des ovocytes, le potentiel membranaire change, indiquant la perméabilité de la membrane au K et au Na (**Hassan et al., 2018 ; Gałęska et al., 2022**).

Les niveaux de phosphore en fin de gestation étaient significativement plus faibles ($P < 0,05$), les résultats observés dans cette étude étaient en accord avec ceux de (**Ahmed et al., 2000**). La diminution de cette substance peut résulter de l'hémodilution causée par l'expansion du plasma maternel, ainsi que de l'augmentation du transport de ces éléments vers le fœtus par certains médiateurs exprimés dans le placenta, ce qui entraîne une diminution de la concentration sanguine de ces éléments pendant la gestation (**Asma et al., 2020 ; Derar et al., 2022**).

Il y a eu un changement significatif ($P < 0,05$) dans la teneur en calcium (Ca) au cours du dernier mois de gestation. Comparable à nos résultats, les niveaux de Ca en fin de gestation chez les femelles Kilis (**Iriadam, 2007**) montrent des variations substantielles, tandis que chez les femelles Baladi (**Azab et al., 1999**), il y a eu une diminution notable pendant la fin de la gestation par rapport à la période précédant la gestation. Nos résultats concordent avec ceux rapportés par **Elias et Shainkin- Kestenbaum (1990)**, qui ont noté une hypocalcémie chez les brebis tout au long des dernières étapes de la gestation et l'ont liée aux besoins croissants en calcium du fœtus en développement. De plus, **Liesegang et al. (2006)** suggèrent que la perte de calcium au cours des différentes étapes de la reproduction est probablement la cause de la diminution de la calcémie chez les femelles (**Liesegang et al., 2006**).

En revanche, nos résultats n'ont pas montré de changement significatif dans les concentrations de magnésium et leurs concentrations ont augmenté après la gestation. Selon **Allaoua et Mahdi (2018)**, qui ont marqué une modification non significative en fin de gestation, bien que les phases de lactation n'aient eu aucun effet sur les concentrations de magnésium. Il semble que les chèvres Arbia puissent compenser l'apport réduit de magnésium en excréant moins dans leur lait et leur urine (**Allaoua et Mahdi, 2014**).

Dans nos recherches, nous avons constaté une diminution significative des concentrations de fer en fin de gestation et dans les phases post-partum. **Tanritarin et al. (2009)**, ont constaté que Fe augmentait significativement après la parturition par rapport à la gestation chez les chèvres, ce qui est contraire à nos résultats (**Tanritanir et al., 2009**). Cependant, à l'instar des résultats d'**Azab et Abdel-Maksoud (1999)**, Fe a diminué de manière significative en fin de gestation, le jour de l'accouchement et pendant les trois semaines suivant l'accouchement par rapport à avant la gestation (**Azab et al., 1999**).

Relation entre le poids à la naissance des chevreaux, l'âge et le poids des chèvres à l'accouplement et les minéraux pendant le dernier stade de la gestation

Il est bien connu que tout au long de la fin de la gestation, de la parturition et de la période post-partum, des changements métaboliques importants se produisent (**Azab et al., 1999**). Ces modifications sont nécessaires pour répondre aux besoins nutritionnels du fœtus en développement et contrôler les besoins de lactation de la femelle. D'après nos résultats, le paramètre plasmatique des minéraux en fin de gestation, l'âge et le poids des chèvres à l'accouplement ont une relation significative.

Les électrolytes, qui comprennent le sodium (Na⁺), le potassium (K⁺) et le chlorure (Cl⁻), sont des ions chargés nécessaires à la survie des organismes. Un déséquilibre électrolytique affecte la capacité d'un animal à se reproduire, ce qui à son tour affecte sa capacité à élever davantage d'animaux. L'inhibition des cellules reproductrices est une conséquence distincte des irrégularités de la ligne électrolyte-hormone. Le système reproducteur de l'animal devient inefficace et sa santé se détériore en raison d'anomalies dans la ligne de rétroaction, sa viabilité pour la reproduction et le bien-être général est donc diminuée (**Leemans et al., 2016**).

L'hypomagnésémie peut se développer à la suite d'une hyperkaliémie, entre autres facteurs. En fait, un certain nombre d'études ont montré que les ruminants nourris avec un régime riche en potassium ont une capacité nettement réduite à absorber le magnésium provenant de leur tube digestif. Pour les ruminants en particulier, le magnésium est crucial (**Hernández et al., 2020**). L'hypocalcémie et l'hypomagnésémie coexistent fréquemment, car la demande fœtale en calcium est supérieure à celle de la lactation (**Allen et Sansom, 1986 ; Castillo et al., 1997**).

L'effet de la parité sur le poids des nouveaux-nés

Les données de notre recherche ont indiqué que la parité avait un effet sur le poids à la naissance des chevreaux de la race Arbia, les petits des chèvres multipares (n=7) avaient un poids de naissance plus élevé ($3,12 \pm 0,54$ Kg) que les petits des chèvres primipares (n=8) ($2,84 \pm 0,78$ Kg). Selon **Laes-Fettback et Peters (1995)**, l'âge des mères est un facteur important ; les chevreaux primipares sont plus faibles à la naissance que les chevreaux multipares (**Laes- Fettback et Peters, 1995**). Les mêmes résultats rapportés par **Bharathidhasan et al. (2009)** ont affirmé que le poids à la naissance à la deuxième parité (2,04 kg) avait tendance à être plus élevé que le poids à la naissance à la première parité (1,88 kg) (**Thiruvankadan et al., 2008**).

De plus, les mêmes auteurs ont noté qu'à la deuxième parité, la croissance pondérale (58,69 g) et le poids au sevrage (7,25 kg) étaient plus élevés que ceux de la première parité (6,61 kg et 52,42 kg, respectivement). De plus, Mahal et al. (2013) ont noté que le poids à la naissance augmentait à mesure que la parité augmentait (**Mahal et al., 2013**). Le poids de naissance le plus élevé s'est avéré significativement associé aux quatrième et deuxième parités (1,5 kg et 1,3 kg), respectivement, tandis que la 1^{er} parité (1,1 kg) avait le poids de naissance le plus faible. La différence de poids à la naissance entre la première et la deuxième parité n'était pas significativement différente (**Alhogbi et al., 2018**).

L'effet de la parité sur les paramètres de la reproduction

Nos résultats démontrent que chez les chèvres Arbia, les femelles primipares sont plus fertiles (100 %), plus fécondes (72,72%) et plus prolifiques (114,28%) par rapport aux multipares. Les chèvres Zaraïbi, en revanche, présentent des caractéristiques reproductives supérieures à la 5^{ème} parité (**Alhogbi et al., 2018**). En termes de prolificité, une prolificité plus élevée observée en 3^{ème} (185,71%) et 5^{ème} (185,71%) parité qu'en 1^{ère} (157,14%) parité. De plus, **Hossain et al. (2004)** ont constaté que la prolificité était significativement affectée par la parité 1, 2 et 3, avec des estimations de 108, 176 et 196 %, respectivement. De plus, **Akpa et al. (2011)** ont rapporté que la prolificité caprine avait tendance à augmenter à mesure que la parité progressait.

VI.2.2 Espèce ovine

VI.2.2.1 Race Rembi et Ouled Djelal

Les concentrations minérales chez les brebis de la race Rembi et Ouled Djelal ont présenté des variations importantes d'une période à une autre du cycle reproductif. En ce qui concerne le sodium et le chlore, nous avons observé des variations hautement significatives entre les périodes étudiées pour les deux races. Selon **Satué et al. (2021)**, les concentrations de Na⁺ et Cl⁻ ont montré une augmentation significative le jour de l'ovulation. Suivant les corrélations positives entre la progestérone et Na⁺, K⁺ et Cl⁻, ainsi qu'entre l'œstrogène et Cl⁻, il est possible que les hormones stéroïdes ovariennes puissent influencer l'élimination urinaire des électrolytes. Effectivement, la concentration maximale d'œstrogènes suit un cycle biphasique lors de l'excrétion urinaire de Na⁺, avec une période de perte initiale suivie d'une période de rétention ultérieure, comme c'est le cas chez le mouton au début de la vie lutéale (**Krajnicáková et al., 1994 ; Satué et al., 2021**).

De plus, il y a une différence significative ($P < 0,05$) entre les niveaux de phosphore de P3 et P4 chez les brebis de la race Rembi, tandis que les niveaux de phosphore de la race Ouled Djelal ne présentent pas de différence significative ($P > 0,05$). Alors que le calcium présente une différence très significative ($P < 0,001$) entre P2 et P3 et une disparité moyennement significative ($P < 0,01$) entre P3 et P4 pour les deux races. En outre, l'hypocalcémie et l'hypophosphatémie chez la brebis apparaissent généralement au cours du dernier mois de gestation plutôt que pendant la période de lactation, en raison du fait que les besoins fœtaux en calcium soient plus élevés que ceux de la lactation chez la brebis (**Allen et Sansom, 1986 ; Castillo et al., 1997**). Il est bien connu que des changements biochimiques marqués se produisent à la fin de la gestation, pendant la parturition et pendant la période post-partum (**Azab et Abdel-Maksoud, 1999**). Ces changements sont impératifs pour répondre aux besoins nutritionnels du fœtus en croissance et pour réguler les besoins en lactation de la femelle (**Krajnicakova et al., 2003 ; Amer, 2014 ; Haroon et al., 2022**).

Chez les brebis de la race Rembi, le magnésium montre une différence très importante ($P < 0,001$) entre P₂ et P₃. Tandis que, chez les brebis de la race Ouled Djelal, le magnésium montre une différence significative ($P < 0,05$) entre P₃ et P₄. Selon **Sharma et al. (2007)**, les besoins alimentaires en Mg du bétail varient en fonction de l'espèce et de la race de l'animal, de son âge et de son taux de croissance ou de production, mais surtout en fonction de l'absorbabilité du minéral dans l'alimentation des ruminants. Alors que, les résultats de **Dass (2002)** montrent que le magnésium influence l'absorption de Ca et de P et que, lorsque les exigences énergétiques étaient élevées, les besoins en magnésium étaient nettement plus élevés.

En ce qui concerne le fer, des différences significatives ont été constatées entre toutes les phases du cycle chez la race Rembi. Par contre, la race Ouled Djelal a montré une différence faiblement significative ($P < 0,05$) entre P2 et P3, ainsi qu'entre P3 et P4. Ces résultats ressemblent à ceux d'**Uslu et al. (2007)**, qui ont observé une augmentation des taux sériques de Fe en fonction de la croissance fœtale, notamment au dernier trimestre de la gestation, tandis que les niveaux ont diminué immédiatement avant l'agnelage des brebis d'Akkaraman.

Dans notre recherche, il n'y a pas de variations significatives dans le profil minéral des brebis de la race Rembi et Ouled Djellal pendant toutes les étapes du cycle reproductif. Cela s'explique par le fait que les brebis soient au même stade de la reproduction et elles se trouvent dans les mêmes conditions zootechniques, telles que l'alimentation, les conditions climatiques, l'âge, la parité et le score corporel.

VI.3 Supplémentation

Effet de la supplémentation en *Moringa oleifera* et du pâturage sur le profil minéral en fin de gestation et après l'agnelage

Il est communément reconnu que tout au long de la fin de la gestation, de la parturition et de la phase post-partum, le corps subit des altérations de son équilibre énergétique et de son statut antioxydant en raison d'une diminution de la consommation alimentaire, du système endocrinien et de changements métaboliques importants (Sordillo, 2016 ; Abuelo et al., 2019). Ces ajustements sont nécessaires pour répondre aux besoins nutritionnels du fœtus en développement et contrôler le besoin de lactation de la femelle (Hernández et al., 2020). La mobilité du corps commence si les besoins énergétiques des animaux ne sont pas satisfaits au fur et à mesure de la gestation grâce à la fourniture d'un complément alimentaire approprié (Care et al., 2018).

Au cours du dernier trimestre de la gestation, les groupes 3 et 4 ont montré des niveaux de sodium et de chlore significativement différents ($P < 0,05$), les brebis à un stade avancé de gestation avaient les concentrations de sodium les plus faibles, ce qui est probablement dû à un écoulement élevé de progestérone en fin de gestation, ce qui abaisse les niveaux de sodium et de chlore chez les femelles (Ogochukwu Nzoputam, 2019 ; Zhang et al., 2019 ; Yendraliza et al., 2020), les titres de progestérone dans le sang qui augmentent pendant la gestation pour atteindre des sommets à des moments quelque peu différents selon les périodes et les espèces ; pour les vaches et les brebis, ils augmentent nettement après le milieu de la gestation (Yokus et al., 2004).

Il y avait également une différence très significative dans les concentrations de calcium et de fer pour les groupes 1 et 3 par rapport au groupe 4 ; le calcium et le fer ont les besoins les plus importants pendant la gestation, tandis que tous les autres minéraux ont des besoins relatifs plus importants en début de lactation (Byrne et al., 2022). Selon O'Loughlin et Morris (2003), la raison de l'augmentation du taux de Ca chez les brebis gestantes par rapport aux brebis non gestantes est probablement l'augmentation de l'absorption intestinale du Ca dans l'alimentation et la résorption osseuse en raison de l'augmentation de l'hormone parathyroïdienne (PTH) causée par l'œstradiol et le 1,25-(OH)₂D, qui augmentent pendant la gestation. La baisse enregistrée du Fe sérique en fin de gestation pourrait être liée à la forte demande de cet élément par le fœtus, car la concentration en fer dans le foie du fœtus augmente continuellement avec l'avancée de la gestation et atteint des niveaux élevés au cinquième mois chez le mouton (Gürdoğan et al., 2006).

En revanche, pendant la phase post-partum, une différence très significative en Na, K, Cl, Ca et Fe a été observée entre les groupes ; On pensait que la teneur en K dans le sang des brebis gravides était associée à d'éventuels problèmes métaboliques en fin de gestation, qui pourraient entraîner diverses distorsions pathologiques des métabolites dans le sang après la parturition (**Antunović et al., 2004**). De plus, **Liesgang et al. (2006)** affirment que la perte de calcium au cours des différentes étapes de la reproduction est probablement la cause de la diminution de la calcémie chez les femelles (**Liesegang et al., 2006**). Contrairement aux conclusions d'**Antunovic et al. (2002)**, qui ont signalé une calcémie plus élevée chez les brebis en fin de gestation que chez les brebis en lactation, nous avons remarqué que les taux moyens les plus élevés se trouvent chez les brebis en lactation.

Variation des paramètres minéraux avant et après la supplémentation

Certaines plantes médicinales sont essentielles à l'alimentation et à la santé des moutons, car elles possèdent également des propriétés médicinales qui améliorent la fertilité des brebis (**Kholif et al., 2016**). Les problèmes de productivité des moutons liés à la nutrition peuvent être minimisés en ajoutant un régime de base à leur alimentation (**Patra et al., 2019**). Les feuilles de Moringa contiennent une quantité suffisante de vitamines, de minéraux et de protéines selon les besoins nutritionnels des animaux gestants et allaitants (**Afzal et al., 2022**).

Sur la base des graphiques, les concentrations de sodium du groupe 3 ont diminué de manière significative ($P < 0,05$), tandis que les autres groupes n'ont pas changé. Néanmoins, il y avait une différence nettement plus faible ($P < 0,05$) entre les concentrations de Cl dans les groupes 3 et 4. **Okab et al. (1992)** déclarent que les concentrations plus faibles de Na et de Cl chez les brebis sont probablement le résultat d'une consommation réduite due à de faibles concentrations d'herbes vertes provenant des pâturages naturels.

Dans notre recherche, les taux plasmatiques de P, Mg et Ca ont augmenté de manière significative pour le groupe 1 supplémenté avec 7,5 g de MO/Jour/femelle ; Selon les résultats des analyses de la plante utilisant le S-XRF, notre supplémentation s'est caractérisée par des concentrations élevées en Ca, P et Mg (2,1183 ; 0,345 et 0,443) respectivement, et peut donc contribuer à l'augmentation significative de ces éléments pour le groupe supplémenté dans la période post-partum. Les mêmes observations ont été faites par **Sengev et al. (2013)**, selon lesquelles cette élévation pourrait être attribuée à l'effet de substitution provoqué par les niveaux élevés de teneur en P, Mg et Ca dans Moringa. Bien que le groupe 3 ait montré une différence significative dans les niveaux de P et de Ca, cela pourrait être le résultat de pâturages frais et luxuriants.

Pour le groupe 4, il y avait une augmentation statistiquement significative des concentrations de P et de Mg. Le magnésium est particulièrement important pour les ruminants (Uslu et al., 2017). Yokus et al. (2004) ont rapporté que la concentration de Mg n'était pas affectée par les changements physiologiques chez les moutons Sakis-Awassi.

Effet de la supplémentation en *Moringa oleifera* sur le poids des agneaux

Les données rapportées par les résultats de notre expérimentation ont montré qu'il n'y a pas de variation significative appréciable du poids à la naissance des agneaux pour les groupes recevant des suppléments ou non. Contrairement à nos résultats, Afzal et al. (2022) ont démontré que le poids à la naissance des chevreaux des groupes supplémentés en Moringa était élevé par rapport au groupe témoin (Kholif et al., 2016 ; Afzal et al., 2022). Nous suggérons que la supplémentation en poudre de feuilles de MO à un stade avancé de la gestation augmente l'apport de protéines au fœtus en développement pour sa croissance ultérieure et améliore également la teneur en protéines du colostrum et du lait (Kholif et al., 2016).

Nos résultats ne sont pas très remarquables à cause des facteurs clés qui sont la durée de la supplémentation et la quantité apportée.

VI.4 Profil minéral des mâles caprins et ovins pendant l'accouplement

L'importance des minéraux est un concept bien établi pour atteindre une croissance optimale, une production en termes de rendement, une santé et des performances de reproduction pour le bétail (**Tiwari et al., 2014**).

La fonction endocrine testiculaire est accomplie par la production d'hormones stéroïdes dans les cellules de Leydig qui régulent de nombreux processus physiologiques essentiels à la fertilité masculine. Chez le mâle, la majeure partie de la testostérone est produite par le testicule (95%) mais une petite quantité est aussi produite par les glandes surrénales (**Abd El-Hamid et al., 2024**).

VI.4.1 Espèce ovine

Selon cette recherche, il a été constaté que le taux des électrolytes chez les béliers de la race Ouled Djellal sont supérieurs à ceux de la race Rembi. En outre, la race Rembi contient des taux de phosphore, de magnésium, de calcium et de fer supérieurs à ceux de la race Ouled Djellal.

En raison de sa grande rusticité, la race Rembi se révèle être la plus adaptée à la steppe et à la montagne par rapport à la race Ouled-Djellal. Ainsi, le Rembi est un mouton qui convient parfaitement aux régions de l'Ouarsenis et des montagnes de Tiaret (notre terrain d'investigation) (**Mefti Korteby et al., 2017**).

Cependant, les béliers de la race Ouled Djellal présentent une testostérone plus élevée que ceux de la race Rembi (4,31 ng/ml contre 2,96 ng/ml). Néanmoins, nos données ont montré que les béliers des races Ouled Djellal et Rembi ont chacun une moyenne d'âge équivalente (6 ans) et presque le même périmètre scrotal (24,5 cm ; 24,3 cm). Selon les conclusions de **Chen et al. (2023)**, la prolactine améliore les niveaux de LH et de testostérone dans le sang, ainsi que le diamètre des tubes séminifères et l'épaisseur de l'épithélium spermatogène. De plus les gènes *SULT2B1*, *CYP3A24*, *CYP3A74*, qui sont enrichis dans la voie de biosynthèse des hormones stéroïdes, pourraient être des facteurs cruciaux impliqués dans la régulation de la fonction testiculaire par la prolactine.

VI.4.1 Espèce caprine

La race Saanen a présenté des niveaux élevés de sodium, de phosphore, de magnésium, de calcium et de fer par rapport aux deux autres races. En revanche, les boucs de la race Alpine ont une teneur plus élevée en potassium et en chlore que les boucs de la race Saanen et Arbia. Cela s'explique par l'ajustement de ces deux races exotiques. Ces niveaux élevés de minéraux chez ces deux races sont liés à l'alimentation des boucs, qui est enrichie en compléments minéralo-vitaminiques, en particulier avant la période de lutte.

Par contre, le taux de testostérone des boucs de la race Arbia était nettement supérieur à celui des boucs de la race Alpine et de la race Saanen (5,61 ng/ml ; 2,27 ng/ml ; 0,72 ng/ml). D'après **Ongphiphadhankul et al, (1995)**, la diminution de la testostérone libre sérique est partiellement associée à la diminution de la densité minérale osseuse liée à l'âge, à laquelle s'ajoute l'effet de l'âge au niveau du col du fémur et du triangle de Ward. La testostérone, mais pas la testostérone libre, est associée à une augmentation de la masse grasse liée à l'âge. Nous avons obtenu les mêmes résultats car les caprins de la race Arbia sont les plus jeunes par rapport aux boucs de la race Alpine et Saanen (2 ans, 3 ans, 5 ans, respectivement).

***Conclusions
&
Perspectives***

Conclusions et Perspectives

En général, la détermination du statut en macro-minéraux et en oligo-éléments des animaux de ferme est un élément important de la gestion de la santé des animaux individuels ainsi que des troupeaux. Une évaluation de l'état minéral des ruminants peut être utile dans les situations où la productivité et les performances reproductives sont inférieures à la moyenne. En règle générale, il est primordial de prévenir les déficits, les surplus et les maladies nutritionnelles, tout en favorisant le bien-être des animaux.

L'objectif principal de cette thèse était de mieux appréhender l'impact de certains paramètres minéraux sur les paramètres de reproduction, les fluctuations de ces paramètres pendant les différentes phases de la reproduction (œstrus, gestation, post-partum) chez des chèvres et des brebis de différentes races. De plus, l'étude de l'impact de la race et de la parité sur le profil minéral et les paramètres de la reproduction a rapporté des résultats déterminants dans cette étude. Nous avons également examiné l'impact de la supplémentation à base de Moringa en fin de gestation chez les brebis sur le profil minéral et la progéniture, ainsi que les variations minérales et hormonales (testostérone) chez les mâles caprins et ovins pendant la période de lutte.

L'étude sur les chèvres Alpine et Saanen a prouvé que la race influence le profil minéral à différentes étapes de la reproduction, ce qui a expliqué son impact sur les taux de reproduction. Toutefois, la race Alpine était plus adaptée au milieu et plus résistante aux besoins minéraux pendant la période de gestation. Ainsi, les besoins des chèvres devraient être comblés en fonction des exigences pendant les phases de reproduction, en particulier à la moitié de la gestation et en post partum. Les résultats de cette étude sur les teneurs en minéraux lors des phases cruciales de la reproduction pourraient être bénéfiques pour fournir des compléments minéraux pendant la période de gestation pour ces deux races.

Les concentrations en minéraux sont influencées par la parité chez la chèvre Arbia pendant les différentes phases de la reproduction et tout au long de la fin de la gestation. Les études menées ont également mis en évidence une forte corrélation entre les minéraux, démontrant que les besoins du fœtus augmentent au cours du dernier mois de la gestation, ce qui nécessite une alimentation équilibrée et une supplémentation pour prévenir les carences. En outre, le poids à la naissance des chevreaux a été influencé par la parité des chèvres Arbia ; cependant, le poids à la naissance augmentait à mesure que la parité augmentait. Toutefois, cette étude a démontré que les caractéristiques de reproduction des chèvres Arbia diminuent

Avec la parité, ce qui suggère que les chèvres âgées ne doivent pas être accouplées afin de réserver leur meilleur niveau de performance.

Selon l'étude de l'impact de la race sur le profil minéral des brebis Rembi et Ouled Djellal pendant la période d'accouplement et les différents stades de la gestation, il a été constaté que les concentrations minérales n'ont pas connu de différences significatives pendant toutes les périodes étudiées. Il en résulte que la race n'a pas d'impact sur les brebis du même stade de la reproduction, qui ont le même âge et le même score corporel, et qui vivent dans les mêmes conditions zootechniques.

Notons aussi que, lors du dernier mois de gestation, l'ajout de *Moringa oleifera* à l'alimentation a révélé une amélioration du profil minéral, notamment celui du Ca, du P et du Mg. Ces paramètres sont essentiels pour la lactation et le développement du fœtus en fin de gestation, et il est essentiel de compléter la ration par cette plante bien avant la parturition afin d'assurer un poids de naissance du nouveau-né idéal et une meilleure performance reproductive.

Les résultats de la mesure des taux minéral et hormonal des mâles caprins et ovins, a révélé la race Rembi est la plus adaptée à la steppe et à la montagne. Ainsi, il est évident que la génétique et l'âge jouent un rôle crucial dans la production de testostérone chez les boucs et les béliers.

En se basant sur les conclusions de cette étude, les deux étapes les plus importantes sont la période de gestation (derniers mois), où les besoins énergétiques des femelles gestantes augmentent considérablement, et la période post-partum. Il serait donc intéressant :

- De doser tous les paramètres du profil minéral pendant les phases cruciales du cycle reproductif afin d'éviter les carences minérales et les maladies métaboliques à savoir : la fièvre de lait, la tétanie d'herbage...
- De doser les hormones sexuelles pour trouver des corrélations entre le profil minéral et hormonal.
- De recommander d'inclure des suppléments riches en minéraux tels que *Moringa oleifera*, en particulier pendant la phase de flushing et de steaming, afin d'améliorer les performances de la reproduction.
- D'étudier l'effet de *Moringa* sur les performances laitières tant quantitativement que qualitativement.
- D'évaluer la qualité et la quantité du sperme en se basant sur les variations minérales et après consommation de *Moringa oleifera* pendant la période de lutte.

Il est important de noter que très peu de recherches similaires à nos travaux concernant l'évaluation du profil minéral pendant les différentes étapes de la reproduction ont été publiées. En outre, l'évaluation de substances minérales en fonction du sexe, de la race et de la parité et le stade physiologique n'a pas été étudiée jusque-là. De ce fait, nos résultats restent à être éclairés par d'autres études.

Cependant, il est nécessaire de mener des études supplémentaires sur des effectifs plus importants et sur d'autres paramètres biochimiques et/ou hormonaux pour établir les possibles liens entre la biochimie sanguine et les performances de reproduction et de production des petits ruminants.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

Abbas RK, Elsharbasy FS, Fadlelmula AA. Nutritional values of *Moringa oleifera*, total protein, amino acid, vitamins, minerals, carbohydrates, total fat and crude fiber, under the semi-arid conditions of Sudan. *J Microb Biochem Technol.* (2018) 10:56–8. doi: 10.4172/1948-5948.1000396

Abd El-Hamid, I. S., Ibrahim, N. H., Farrag, B., Younis, F. E., & Wahba, I. A. (2017). Reproductive and Productive Efficiency of Damascus and Baladi goats under Egyptian arid conditions. *Research Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 9(1), 6–14.

Abd El-Hamid, Ibrahim Samir, Ali, F., Mohamed, R. H., Yousef, N. A., El-Sebaey, A. M., Ibrahim, R. M., Noseer, E. A., Hussein, H. A., & Nour, S. Y. (2024). Testicular Biometry, Spermigram, and Biochemical Parameters in Male Goats. *Egyptian Journal of Veterinary Science(Egypt)*, 55(3), 671–679. doi: 10.21608/EJVS.2023.235081.1607

Abecia, J. A., Chemineau, P., Gómez, A., Keller, M., Forcada, F., & Delgadillo, J. A. (2016). Presence of photoperiod-melatonin-induced, sexually-activated rams in spring advances puberty in autumn-born ewe lambs. *Animal Reproduction Science*, 170, 114–120.

Abuelo, A., Hernández, J., Benedito, J. L., & Castillo, C. (2019). Redox biology in transition periods of dairy cattle: Role in the health of periparturient and neonatal animals. *Antioxidants*, 8(1).doi: 10.3390/antiox8010020

Afridi, H. I., Kazi, T. G., Talpur, F. N., Baig, J. A., & Chanihoon, G. Q. (2022). Essential trace and Toxic elemental concentrations in biological samples of male adult referent and Eunuch subjects. *Clinica Chimica Acta*, 529, 96–103.

Afzal, A., Hussain, T., Hameed, A., Shahzad, M., Mazhar, M. U., & Yang, G. (2022). Dietary *Moringa oleifera* Alters Periparturient Plasma and Milk Biochemical Indicators and Promotes Productive Performance in Goats. *Frontiers in Veterinary Science*, 8(March). doi: 10.3389/fvets.2021.787719

Aggoun, S. (2019). La spermatogénèse. Retrieved from https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/aggoun_samir/files/spermatogenese.pdf

Ahmed, F., & Mohammed, A. (2019). Magnesium: The Forgotten Electrolyte-A Review on Hypomagnesemia. *Medical Sciences (Basel, Switzerland)*, 7(4). doi: 10.3390/medsci7040056

Ahmed, M. M. M., Siham, A. K., & Barri, M. E. S. (2000). Macromineral profile in the plasma of Nubian goats as affected by the physiological state. *Small Ruminant Research*, 38(3), 249–254. doi: 10.1016/S0921-4488(00)00166-8

Ahuja, A., & Parmar, D. (2017). Role of Minerals in Reproductive Health of Dairy Cattle: A Review. *International Journal of Livestock Research*, June, 1. doi: 10.5455/ijlr.20170806042724

Akpa, G. N., Alphonsus, C., Yakubu, S. Y. D. H., & Garba, Y. (2011). Relationship between litter size and parity of doe in smallholder goat herds in Kano and its environs, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, 6(29), 6212–6216. doi: 10.5897/AJAR11.365

Alary, V., Duteurtre, G., & Faye, B. (2011). Élevages Et Sociétés : Les Rôles Multiples De L'Élevage Dans Les Pays Tropicaux. *INRAE Productions Animales*, 24(1), 145–156. doi: 10.20870/productions-animales.2011.24.1.3246

Allaoua, S. A., & Mahdi, D. (2014). Minero-Biochemical Profiles of Arbia Goats Reared Traditionally Under the Semi-Arid Environment of North-Eastern Algeria During Peri-Parturient Period. Retrieved from www.environmentaljournal.org

Allaoua, S. A., & Mahdi, D. (2018). Plasma biochemical and minerals parameters in arbia goats of a semi-arid region of North-Eastern Algeria during different stages of production. *Veterinarski Arhiv*, 88(5), 643–660. doi: 10.24099/vet.arhiv.0068

Allen, W. M., & Sansom, B. F. (1986). Parturient paresis (milk fever) and hypocalcemia (cows, ewes, and goats). *Current Veterinary Therapy: Food Animal Practice*, 2, 311–320.

Altay, Y., & Bayraktar, M. (2020). Some mineral substance levels in whole blood of sheep and goat grazing under extensive conditions according to famacha © (issue December).

Amer, H. A., Salem, H. A. H., & Al-Hozab, A. A. (1999). Biochemical changes in serum and milk constituents during postpartum period in Saudi Ardy goats. *Small Ruminant Research*, 34(2), 167--173.

Amer, Z. (2014). Liver and Kidney Functions and Blood Minerals of Shami Goats Fed Salt Tolerant Plants under the Arid Conditions of Southern Sinai, Egypt. *Journal of American Science*, 10(3), 49–59. Retrieved from <http://www.americanscience.org>
<http://www.americanscience.org>.7

Ammerman, C. B., & Goodrich, R. D. (1981). Advance in Mineral Nutrition in Ruminants. *J ANIM SCI*, 57(7), 519–533.

Antunović, Z., Senčić, Đ., Šperanda, M., & Liker, B. (2002). Influence of the season and the reproductive status of ewes on blood parameters. *Small Ruminant Research*, 45(1), 39–44.

Antunović, Z., Šperanda, M., Novoselec, J., Đidara, M., Klir, Ž., & Samac, D. (2017). Blood metabolic profile and acid-base balance of dairy goats and their kids during lactation. *VeterinarskiArhiv*, 87(1), 43–55.

Antunović, Z., Šperanda, M., & Steiner, Z. (2004). The influence of age and the reproductive status to the blood indicators of the ewes. *Archives Animal Breeding*, 47(3), 265–273. doi: 10.5194/aab-47-265-2004

Anwar, M. M., Ramadan, T. A., & Taha, T. A. (2012). Serum metabolites, milk yield, and physiological responses during the first week after kidding in Anglo-Nubian, Angora, Baladi, and Damascus goats under subtropical conditions. *Journal of Animal Science*, 90(13), 4795–4806.

Asma, M., Mohammed, T., Hanane, M., & Fadjria, Y. (2020). Effect of different altitude on reproductive performances and mineral assessment in Ouled Djellal ewes during the mating period. *Tropical Animal Health and Production*, 52(6), 3275–3283. doi: 10.1007/s11250-020-02358-8

Aurore, B. (2014). Performances de reproduction et avortements chez les petits ruminants de Guyane : pré-étude, Aurore Bourguignon Résumé.

Azab, M. E., & Abdel-Maksoud, H. A. (1999). Changes in some hematological and biochemical parameters during prepartum and postpartum periods in female Baladi goats. *Small Ruminant Research*, 34(1), 77–85. doi: 10.1016/S0921-4488(99)00049-8

Azab, S. S., Mostafa, T., Abougabal, K. M., Tohamy, A. A., & Nabil, N. (2021). Assessment of seminal calcium and magnesium levels in infertile men with varicocele before and after varicocelectomy. *Andrology*, 9(6), 1853–1858. doi: 10.1111/andr.13066

Badi, A. (2020). Sur la production et la conservation du sperme chez le bélier de la race Boujaâd.

Balasse, M., Keller, M., Balasescu, A., Tresset, A., & Chemineau, P. (2017). Cycle de reproduction des ovins et rythme saisonnier de l'élevage : un schéma plurimillénaire bouleversé par la recherche agronomique. In *Regards croisés : quand les sciences archéologiques rencontrent l'innovation* (Issue January). doi: 10.17184/eac.3789

Banerjee, P. P., Banerjee, S., Brown, T. R., & Zirkin, B. R. (2018). Androgen action in prostate function and disease. *American Journal of Clinical and Experimental Urology*, 6(2), 62–77.

Baril, G., Chemineau, P., Cognie, Y., Guérin, Y., Leboeuf, B., Orgeur, P., & Vallet, J-C. (1993). Manuel de formation pour l'insemination artificielle chez les ovins et les caprins. FAO, 83, 231 p. Etude FAO, Production et Santé animales, 92-5-202808-0.

Barlet, J. P. (1985). Prolactin and Calcium metabolism in pregnant ewes. *Journal of Endocrinology*, 107(2), 171–175.

Barone, R. (1978). Anatomie comparée des mammifères domestiques. In *Anatomie comparée des mammifères domestiques*. (P. 945). Ecole nationale Vétérinaire de Lyon.

Barone, R. (2001). Anatomie compare des mammifères domestiques. In *Anatomie compare des mammifères domestiques*. (4th ed., pp. 83–250).

Barone, R. (2010). Anatomie Comparée des Mammifères Domestiques : Tome 6, Neurologie I. (Bologna : E).

Bartíkova, M., Holkova, L., Safrankova, I., Nemeč, P., 2020. Causal agents of powdery mildew on *Moringa stenopetala* (Baker f.) Luf. and *Moringa oleifera* Lam. in Ethiopia. *S. Afr. J. Bot.* 129, 457–462. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.12.002>.

Beard, J. L. (1994). Iron deficiency: assessment during pregnancy and its importance in pregnant adolescents. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 59(2), 502S-510S.

Benderradji, F. (2015). Etude comparative du statut minéral (macro- éléments) des brebis dans la région de Seriana : effet altitude et saison. Université El Hadj Lakhdar-BATNA.

Bengoumi, M., & Ameziane, T. (2014). Evolution and efficacy of transfer of technologies in small ruminant production systems in North Africa. *Technology Creation and Transfer in Small Ruminants: CIHEAM, Series an M* (108), 15–24.

Bernacka, H., Peter, E., Kasperska, D., & Mistrz, M. (2013). Performance evaluation of alpine and saanen goats in Poland in the years 2000-2011. *Polish Journal of Natural Sciences*, 28(3), 339–348.

Bernardino, R. L., Carrageta, D. F., Sousa, M., Alves, M. G., & Oliveira, P. F. (2019). pH and male fertility: Making sense on pH homeodynamics throughout the male reproductive tract. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 76, 3783–3800.

Berrani, A. (2022). Étude de la variation du métabolisme chez les femelles gestantes des ruminants. Université Ibn Khaldoun Tiaret.

Bindari, Y. R., Shrestha, S., Shrestha, N., & Gaire, T. N. (2013). Effects of Nutrition on Haematology of Rabbits : A Review. *Adv. Appl. Sci. Res.*, 4(1), 421–429.

Bocquier, F., Theriez, M. ; Prache, S., & Brelurut, A. (1988). Alimentation des ovins. In : Jarrige R. Alimentation des bovins, ovins et caprins. (INRA. Paris).

Bonnes, G., Desclaude, J., Drogoul, C., Gadoud, R., Jussiau, R., Le Loc'h, A., Montaméas, L., & Robin, G. (1988). *Reproduction des mammifères d'élevage* (15th–139th ed.). Paris: INRAP.

Bothwell, T. H., Charlton, R. W., Cook, J. D., & Finch, C. A. (1979). Iron metabolism in man. *Blackwell Scientific Publications*.

Boukhliq, R., Allali, K. E. L., & Tibary, A. (2017). Anatomie et examen échographique des organes génitaux chez le bélier et le bouc. 226–240.

Brown, S. G., Publicover, S. J., Barratt, C. L. R., & Martins da Silva, S. J. (2019). Human spermion channel (dys)function : Implications for fertilization. *Human Reproduction Update*, 25(6), 758–776. doi: 10.1093/humupd/dmz032

Bruder, E. (2018). Les effets de la photoperiode sur la reproduction chez les equides et les bovides. (Issue 50). L'universite claud-bernard - lyon I.

Brunet-Grissolange, F. (2002). Rationnement et maladies métaboliques de la vache laitière: étude bibliographique des principaux troubles métaboliques de la vache laitière et leurs implications sur le rationnement : compte-rendu d'analyse de 29 rations collectées en France entre.

- Buhling, K. J., & Grajecki, D. (2013). The effect of micronutrient supplements on female fertility. *Current Opinion in Obstetrics and Gynecology*, 25(3), 173–180.
- Byrne, L., & Murphy, R. A. (2022). Relative Bioavailability of Trace Minerals in Production Animal Nutrition : A Review. *Animals*, 12(15). doi: 10.3390/ani12151981
- Capuco, A. V., Wood, D. L., Bright, S. A., Miller, R. H., & Bitman, J. (1990). Regeneration of teat canal keratin in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 73(7), 1745–1750.
- Care, S., Trevisi, E., Minuti, A., Ferrari, A., Loor, J. J., & Calamari, L. (2018). Plasma fructosamine during the transition period and its relationship with energy metabolism and inflammation biomarkers in dairy cows. *Livestock Science*, 216, 138–147.
- Carpenter, C. E., & Mahoney, A. W. (1992). Contributions of heme and nonheme iron to human nutrition. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 31(4), 333–367. doi: <https://doi.org/10.1080/10408399209527576>
- Castillo, C., Hernandez, J. R., Lopez, M., Miranda, M., Garcia-Partida, P., & Benedito, J. L. (1997). Relationship between venous pH, serum calcium and proteins in the course of anoestrus, pregnancy and lactation in the ewe. *Archiv Fuer Tierzucht (Germany)*, 40(3).
- Ceko, M. J., O’Leary, S., Harris, H. H., Hummitzsch, K., & Rodgers, R. J. (2016). Trace elements in ovaries : Measurement and physiology. *Biology of Reproduction*, 94(4), 1–14. doi: 10.1095/biolreprod.115.137240
- Cetin, I., Berti, C., & Calabrese, S. (2009). Role of micronutrients in the periconceptual period. *Human Reproduction Update*, 16(1), 80–95. doi: 10.1093/humupd/dmp025
- Chartier, C. (2018). Pathologie caprine : du diagnostic à la prévention.
- Chavarro, J. E., Rich-Edwards, J. W., Rosner, B. A., & Willett, W. C. (2006). Iron intake and risk of ovulatory infertility. *Obstetrics & Gynecology*, 108(5), 1145–1152.
- Chen, M., Duan, C., Yin, X., Li, X., Liu, X., Zhang, L., Yue, S., Zhang, Y., & Liu, Y. (2023). Prolactin inhibitor changes testosterone production, testicular morphology, and related genes expression in cashmere goats. *Frontiers in Veterinary Science*, 10(October), 1–10. doi: 10.3389/fvets.2023.1249189

- Chen, W., Xia, W. G., Ruan, D., Wang, S., Abouelezz, K. F. M., Wang, S. L., & Zheng, C. T. (2020). Dietary calcium deficiency suppresses follicle selection in laying ducks through mechanism involving cyclic adenosine monophosphate-mediated signaling pathway. *Animal*, *14*(10), 2100–2108.
- Christian, M. (2009). La reproduction des ovins, des caprins et des chameaux cas de la zone tropicale. *Université Montpellier II*, 1–42.
- Control, P. V. (2020). Serum cu and zn values of sheep and goats i n the marmara.
- Corcy, J.-C. (1991). « La chèvre » (La maison). Paris.
- Crocco, H. (2017). Les profils métaboliques en élevage bovin allaitant. Ecole vétérinaire d'Alfort.
- Cuq, P. (1973). Anatomical and functional bases of reproduction in the zebu (*Bos indicus*). *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux*, *26*(4), 21a-48a.
- Dacheux, J.L., et Dacheux, F. (2001). L'épididyme et les glandes annexes *In* : Thibault et Levasseur. La reproduction chez les mammifères et l'homme. *Ed. INRA, Ellipses, Paris* 290–315.
- Dakka, B. A., & Abdel-Ali, T. S. (1992). Studies on minerals picture in the blood sera of Egyptian Sheep. *Assiut Veterinary Medical Journal*, *28*(55), 242–249.
- Dalai, N., Das, K., Das, P. K., Ghosh, P. R., Shekhar, S., & Pandiyan, G. D. V. (2017). Ovarian biometry with role and distribution of trace elements in ovarian follicular fluids of goat: an Overview. *Indian Journal of Animal Health*, *56*, 145–156. Retrieved from http://ijah.in/upload/snippet/272_53.pdf
- Dar, A., Jadhav, R., Dimri, U., Khan, A., Khan, H., & Sharm, M. (2014). Effects of physiological status and seasonal variation on plasma mineral profile of sheep in Kashmir valley. *Scientific Research and Essays*, *9*(4), 69–76. doi: 10.5897/sre2013.5694

Dass, R. S. (2002). Role of Minerals in Animal Reproduction. *Endocrinology of Reproductive Disorders in Farm Animals*.

De boeck université. (2007). Retrieved from <https://biobenhamza.home.blog/tag/spermatogenese/>

Derar, D., Ali, A., Almundarij, T., Abd-Elmoniem, E., Alhassun, T., & Zeitoun, M. (2022). Association between Serum Trace Elements Levels, Steroid Concentrations, and Reproductive Disorders in Ewes and Does. *Veterinary Medicine International*, 2022. doi: 10.1155/2022/8525089

Derar, D. R., Ali, A., Almundarij, T. I., Abdel-Elmoniem, E. M., Alhassun, T. M., & Zeitoun, M. (2022). Trace Elements in Pregnant and Non-pregnant Sheep and Goats and Their Relation to Steroid Hormones. *Indian Journal of Animal Research, Of*, 1–5. doi: 10.18805/ijar.bf-1541

Dhondup, T., & Qian, Q. (2017). Acid-Base and Electrolyte Disorders in Patients with and without chronic kidney disease: An Update. *Kidney Diseases*, 3(4), 136–148. doi: 10.1159/000479968

Dirand, A. (2007). *L'élevage du mouton*. (Editions E).

Djaalab, I. (2017). Influence de l'alimentation sur la reproduction des petits ruminants. Université des Frères Mentouri Constantine 1.

Djaout, A., Afri-Bouzebda, F., Chekal, F., El-Bouyahiaoui, R., Rabhi, A., Boubekour, A., & Gaouar, S. B. S. (2017). Etat de la biodiversité des « races » ovines algériennes. *Gen. Biodiv. J*, 1(1), 1–17.

Doré, V., Dubuc, J., Bélanger, A. M., & Buczinski, S. (2015). Definition of prepartum hyperketonemia in dairy goats. *Journal of Dairy Science*, 98(7), 4535–4543. doi: 10.3168/jds.2014-9172

Drion, P., Beckers, J. F., Derivaux, J., & Ectors, F. (1993). *Physiologie de la reproduction*. Université de Liège, Faculté de médecine vétérinaire.

Drogoul, C., Gadoud, R., & Joseph, M. M. (2004). Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. (Educagri E).

Dudouet, C. (2003). *La production du Mouton*. (2 -ème édit).

Dyce, K. M., Sack, W. O., & Wensing, C. J. G. (2002). *Textbook of Veterinary Anatomy* (3rd ed.Sau). Philadelphia (USA).

El-Moghazy, M. M., Khalifa, E. I., Rasha, A. E., & Hawas. (2018). Effect of different parity types on reproductive performance of dairy zaraibi goats. *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical*, *44*(8), 0–22. doi: 10.1088/1751-8113/44/8/085201

Elias, E., & Shainkin-Kestenbaum, R. (1990). Hypocalcaemia and serum levels of inorganic phosphorus, magnesium parathyroid and calcitonin hormones in the last month of pregnancy in Awassi fat-tail ewes. *Reproduction Nutrition Development*, *30*(6), 693–699. doi: 10.1051/rnd:19900606

Elzein, E., Osman, I., & Omer, S. (2016). Effect of physiological status in some haematological and biochemical parameters in desert goats. *International Journal of Veterinary Science*, *5*(2), 95–98.

Eyidoğan, M., Çanakci, M., Necati, Ö. A., ALPTEKİN, E., TÜRKCAN, A., & KILIÇASLAN, İ. (2009). Serum concentrations of copper, iron, zinc and selenium in cyclic and anoestrus nili-ravi buffaloes kept under farm conditions. *American Journal of Research Communication*, *5*(August), 12–42.

Fatet, A., LeBoeuf, B., Freret, S., Druxart, X., Bodin, L., Caillat, H., David, I., Palhière, I., Boué, P., & Lagriffoul G. (2008). L'insémination dans les filières ovines et caprines. *Rencontres Recherche Ruminants*, *15*(2), 355–358.

Feng, Q., Liu, D., Lu, Y., & Liu, Z. (2020). The Interplay of Renin-Angiotensin System and Toll-Like Receptor 4 in the Inflammation of Diabetic Nephropathy. *Journal of Immunology Research*, 2020. doi: 10.1155/2020/6193407

Ferreira, N. S., Tostes, R. C., Paradis, P., & Schiffrin, E. L. (2021). Aldosterone, Inflammation, Immune System, and Hypertension. *American Journal of Hypertension*, *34*(1), 15–27. doi: 10.1093/ajh/hpaa137

France, J., Dijkstra, J., Bannink, A., & Gerrits, W. J. (2006). *Nutrient digestion and utilization in farm animals: modelling approaches*. (CABI).

François, C. (2017). La Reproduction chez les Ovins. (. Édition, Vol. 4, Issue 1). Pavillon Paul-Comtois, Université Laval.

Gałęska, E., Wrzecińska, M., Kowalczyk, A., & Araujo, J. P. (2022). Reproductive Consequences of Electrolyte Disturbances in Domestic Animals. *Biology*, *11*(7), 1–23. doi: 10.3390/biology11071006

Gayrard, V. (2018). Physiologie De La Reproduction Des Mammifères Domestiques. *Ecole Nationale Vétérinaire Toulouse*, *4*(21), 241.

Ghorbankhani, F., Souri, M., Moeini, M. M., & Mirmahmoudi, R. (2015). Effect of nutritional state on semen characteristics, testicular size and serum testosterone concentration in Sanjabi ramlambs during the natural breeding season. *Animal Reproduction Science*, *153*, 22–28.

Giersch, G. E. W., Charkoudian, N., Stearns, R. L., & Casa, D. J. (2020). Fluid Balance and Hydration Considerations for Women: Review and Future Directions. *Sports Medicine*, *50*(2), 253–261. doi: 10.1007/s40279-019-01206-6

Giffin, J. L., Hahnel, A. C., & Bartlewski, P. M. (2017). Retinoic acid treatment alters germ cell heterogeneity and testicular echotexture in prepubescent ram lambs. *Reproduction, Fertility and Development*, *29*(2), 244–253.

Goff, J. P. (2014). Calcium and magnesium disorders. *Veterinary Clinics: Food Animal Practice*, *30*(2), 359–381.

Goncalves, F. A., de Jesus, J. S., Cordeiro, L., Piraciaba, M. C. T., de Araujo, L. K., Steller Wagner Martins, C., & Elias, R. M. (2020). Hypokalemia and hyperkalemia in patients on peritoneal dialysis: incidence and associated factors. *International Urology and Nephrology*, *52*, 393–398.

Graham, C. E. (1981). Endocrine control of spermatogenesis in primates. *American Journal of Primatology*, *1*(2), 157–165. doi: 10.1002/ajp.1350010206

Grimard, B., Ponter, A. A., Humblot, P., Ponsart, C., & Mialot, J. P. (2002). Alimentation hivernale des vaches allaitantes et performances de reproduction. *Elevage et Insémination*, *309*.

Guerouali, A., & Boulanouar, A. (2005). Besoins énergétiques des brebis au cours du cycle de production. In *L'élevage du mouton et ses systèmes de production au Maroc*. (Editions I, pp. 291–307). Paris.

Gürdoğan, F., Yildiz, A., & Balikci, E. (2006). Investigation of serum Cu, Zn, Fe and Se concentrations during pregnancy (60, 100 and 150 days) and after parturition (45 days) in single and twin pregnant sheep. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 30(1), 61–64.

Hafez, E., & HAfez, B. (2013). Reproduction in farm animals. (John Wiley).

Hafez, M. (2019). Serum Hormonal, Metabolic and Minerals Profile in Normal Cyclic and Postpartum Anestrus Egyptian Buffaloes. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 60(2), 102. doi: 10.5455/ajvs.27345

Hammoudi, S. M. (2011). Etude sur la reproduction des caprins de race locale. In University D'Oran.

Harchegani, A. B., Irandoost, A., Mirnamniha, M., Rahmani, H., Tahmasbpour, E., & Shahriary, A. (2019). Possible mechanisms for the effects of calcium deficiency on male infertility. *International Journal of Fertility & Sterility*, 12(4), 267.

Haron, M., Jamil, H., Ullah, Q., Farooq, M., Inamullah, M., Fahim, M., Khan, U., & Ahmad, I. (2022). Bioscience Research Cholesterol and serum minerals profile in the pregnancy and puerperium period of Beetal Goats. 2556.

Hassan, M. S., Al-Nuaimi, A. J., Al-Yasari, A. M., & Jameel, Y. J. (2018). Study the effects of follicular size on some biochemical follicular fluid composition in she camel (*Camelus dromedarius*). *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 6(8), 341–346. doi: 10.17582/journal.aavs/2018/6.8.341.346

Hassoun, P., & Bocquier, F. (2007). Alimentation des bovins, ovins et caprins. *Institut National de La Recherche Agronomique, January 2007*, 315.

Hefnawy, A., Shousha, S., & Youssef, S. (2011). Hematobiochemical profile of pregnant and experimentally pregnancy toxemic goats.

Herdt, T. H., & Hoff, B. (2011). The Use of Blood Analysis to Evaluate Trace Mineral Status in Ruminant Livestock. *Veterinary Clinics of North America - Food Animal Practice*, 27(2), 255–283. doi: 10.1016/j.cvfa.2011.02.004

Hernández, J., Benedito, J. L., & Castillo, C. (2020). Relevance of the study of metabolic profiles in sheep and goat flock. Present and future: A review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 18(3), 1–14. doi: 10.5424/sjar/2020183-14627

Hess, B. W., Moss, G. E., & Rule, D. C. (2008). A decade of developments in the area of fat supplementation research with beef cattle and sheep. *Journal of Animal Science*, 86(14 Suppl). doi:10.2527/jas.2007-0546

Holdcraft, R. W., & Braun, R. E. (2004). Hormonal regulation of spermatogenesis. *International Journal of Andrology*, 27(6), 335–342. Doi: 10.1111/j.1365-2605.2004.00502.x

Horst, R. L., Goff, J. P., & Reinhardt, T. A. (2005). Adapting to the transition between gestation and lactation: differences between rat, human and dairy cow. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 10(2), 141–156.

Hossain, S. M. J., Sultana, N., Alam, M. R., & Hasnath, M. R. (2004). Reproductive and productive performance of Black Bengal goat under semi-intensive management. 537–541.

Huang, H., Yao, J., Yang, N., Yang, L., Tao, L., Yu, J., Gao, Y., & Liu, Z. (2022). Association between levels of blood trace minerals and periodontitis among United States adults. *Frontiers in Nutrition*, 9(September), 1–14. doi: 10.3389/fnut.2022.999836

Huber, K., Walter, C., Schröder, B., & Breves, G. (2002). Phosphate transport in the duodenum and jejunum of goats and its adaptation by dietary phosphate and calcium. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 283(2 52-2), 296–302. doi: 10.1152/ajpregu.00760.2001

Humann-Ziehank, E., Tegtmeyer, P. C., Seelig, B., Roehrig, P., & Ganter, M. (2013). Variation of serum selenium concentrations in German sheep flocks and implications for herd health management consultancy. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 55, 82. doi: 10.1186/1751-0147-55-82

Iqbal, M. U., Qamar, B., Ghulam, M., & Sajid, M. (2005). Absorption, availability, metabolism and excretion of phosphorus in ruminants.

Iriadam, M. (2007). Variation in certain hematological and biochemical parameters during the peri-partum period in Kilis does. *Small Ruminant Research*, 73(1–3), 54–57.

Jainudeen, M. R., Wahid, H., & Hafez, E. S. E. (2000). Sheep and goats. *Reproduction in Farm Animals*, 172–181.

Jarczak J, B. E., Kaba J, K. E., Czopowicz M, J. A., & Krzyżewski J, S. N. (2015). Active Dry Yeast Culture Supplementation Effect on the Blood Biochemical Indicators of Dairy Goats. *Advances in Dairy Research*, 02(02), 1–7. doi: 10.4172/2329-888x.1000123

Jean-Blain, C. (2002). Introduction à la nutrition des animaux domestiques. (Technique).

Jousan, F. D., Utt, M. D., & Beal, W. E. (2002). Effects of differences in dietary protein on the production and quality of bovine embryos collected from superovulated donors. *Journal of Animal Science*, 8(1).

Kadi, S. A., Djellal, F., Hassini, F., & Mouhous, A. (2016). Pratiques alimentaires dans les élevages caprins dans la région montagneuse de Tizi-Ouzou en Algérie. *Options Méditerranéennes. Series A : Mediterranean Seminars*, 252(115), 249–252. Retrieved from <http://om.ciheam.org/om/pdf/a115/00007283.pdf>

Kappel, L. C., & Zidenberg, S. (1999). Manganese : Present Knowledge in nutrition. *International Life Sciences Institute Nutrition Foundation*, 308.

Karapehlivan, M., Atakisi, E., Atakisi, O., Yucayurt, R., & Pancarci, S. M. (2007). Blood biochemical parameters during the lactation and dry period in Tuj ewes. *Small Ruminant Research*, 73(1–3), 267–271.

Karn, J. F. (2001). Phosphorus nutrition of grazing cattle: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 89(3–4), 133–153.

Keller, W. J., & Mullaj, E. (2018). Antidiuretic hormone release associated with increased intracranial pressure independent of plasma osmolality. *Brain and Behavior*, 8(6), 1–11. doi: 10.1002/brb3.1005

Khan, Z. I., Hussain, A., Ashraf, M., Ashraf, M. Y., & McDowell, L. R. (2007). Macromineral status of grazing sheep in a semi-arid region of Pakistan. *Small Ruminant Research*, 68(3), 279-- 284.

Kholif, A. E., Morsy, T. A., Gouda, G. A., Anele, U. Y., & Galyean, M. L. (2016). Effect of feeding diets with processed Moringa oleifera meal as protein source in lactating Anglo-Nubian goats. *Animal Feed Science and Technology*, 217, 45–55.

Kim, J. M., Song, K. S., Xu, B., & Wang, T. (2020). Role of potassium channels in female reproductive system. *Obstetrics and Gynecology Science*, 63(5), 565–576. doi: 10.5468/ogs.20064

Kincaid, R. L. (2000). Assessment of trace mineral status of ruminants: A review. *Journal of Animal Science*, 77(E-Suppl), 1. doi: 10.2527/jas2000.77e-suppl1x

Klasing, K. C., Goff, J. P., Greger, J. L., King, J. C., Lall, S. P., Lei, X. G., & Spears, J. W. (2005). Mineral tolerance of animals. *Washington (DC): National Research Council of the National Academies.*, 453–468.

Kou, X., Li, B., Olayanju, J. B., Drake, J. M., & Chen, N. (2018). Nutraceutical or pharmacological potential of Moringa oleifera Lam. *Nutrients*, 10(3). <https://doi.org/10.3390/nu10030343>

Krajnicáková, M., Bekeová, E., Maracek, I., & Hendrichovský, V. (1994). Levels of sodium and potassium and their relation to ovarian hormones during estrus synchronization and pregnancy in ewes. *Veterinarni Medicina*, 39(9), 541–550.

Krajnicakova, M., Kovac, G., Kostecky, M., Valocky, I., Maracek, I., Sutiakova, I., & Lenhardt, L. (2003). Selected clinico-biochemical parameters in the puerperal period of goats. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, 47(1).

Kretser, D. M. De, Loveland, K. L., Meinhardt, A., Simorangkir, D., & Wreford, N. (1998). Spermatogenesis. 13.

Kumar, A., Singh, C., & Singh, A. (2003). Relationship between trace mineral content of soil, fodder and animals of different ages and stages of lactation. *Indian Journal of Animal Sciences*, 73(4), 444--447.

Kurniawan, A. L., Yang, Y. L., Hsu, C. Y., Paramastri, R., Lee, H. A., Ni, P. Y., Chin, M. Y., & Chao, J. C. J. (2021). Association between metabolic parameters and risks of anemia and electrolyte disturbances among stages 3–5 chronic kidney disease patients in Taiwan. *BMC Nephrology*, *22*(1), 1–9. doi: 10.1186/s12882-021-02590-w

Laes-Fettback, C., & Peters, K. J. (1995). A comparative study of performance of Egyptian goatbreeds II. *Growth performance and productivity*. 563–575.

Lagente, M. (2000). *Métabolisme phosphocalcique*. Editions M, pp. 61–98.

Leemans, B., Gadella, B. M., Stout, T. A. E., De Schauwer, C., Nelis, H., Hoogewijs, M., & VanSoom, A. (2016). Why doesn't conventional IVF work in the horse? The equine oviduct as a microenvironment for capacitation/fertilization. *Reproduction*, *152*(6), R233–R245. doi: 10.1530/REP-16-0420

Liesegang, A., Risteli, J., & Wanner, M. (2006). The effects of first gestation and lactation on bone metabolism in dairy goats and milk sheep. *Bone*, *38*(6), 794–802.

Lipiński, K., Stasiewicz, M., Purwin, C., & Zuk-Gołaszewska, K. (2011). Effects of magnesium on pork quality. *Journal of Elementology*, *16*(2), 325–337. doi: 10.5601/jelem.2011.16.2.14

Liu, J., Li, Q., Ren, J., Liang, X., Zhang, Q., & Han, Y. (2020). Association of sex with serum potassium, sodium, and calcium disorders after hypertensive intracerebral hemorrhage. *World Neurosurgery*, *141*, 367–373.

Liu, S. W., Li, Y., Zou, L. L., Guan, Y. T., Peng, S., Zheng, L. X., & Chen, L. X. (2017). Chloride channels are involved in sperm motility and are downregulated in spermatozoa from patients with asthenozoospermia. *Asian Journal of Andrology*, *19*(4), 418–424.

Lyngset, O. (1968). Studies on Reproduction in the Goat: III. The Functional Activity of the Ovaries of the Goat. *Acta Veterinaria Scandinavica*, *9*(3), 268–276. doi: 10.1186/BF03547872

Madani, T., Sahraoui, H., & Benmakhlof, H. (2015). Workshop national sur : Valorisation des races locales ovines et caprines à faibles effectifs 1' élevage caprin en Algérie : systèmes d' élevage, performances et mutations. *INRA Algeria, March*.

Mahal, Z., Khandoker, M. A. M. Y., & Haque, M. N. (2013). Effect of non-genetic factors on productive traits of Black Bengal goats. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 11(452-2016–35530), 79–86.

Mahmud, M., Josephat, O., Abdullahi, S., Aminu, U., Abdurrahman, B., Akawu, S., Abubakar, D., & Shehu, and. (2016). Species Variation on Gross Morphology and Gross Morphometry of Accessory Sex Glands in One-Humped Camel Bull (*Camelus dromedarius*), Uda Ram and Red Sokoto Buck. *World's Veterinary Journal*, 6(1), 53. doi: 10.5455/wvj.20160467

Makhlouf, A., Titaouine, M., Mohamdi, H., & Yakoub, F. (2020). Effect of different altitude on reproductive performances and mineral assessment in Ouled Djellal ewes during the mating period. *Tropical Animal Health and Production*, 52, 3275–3283.

Manat, T. D., Chaudhary, S. S., Singh, V. K., Patel, S. B., & Puri, G. (2016). Hematobiochemical profile in Surti goats during post-partum period. *Veterinary World*, 9(1), 19–24. doi:10.14202/vetworld.2016.19-24

Manopriya, S., Aberathna, A. A. A. U., Satharasinghe, D. A., Jayasooriya, L. J. P. A. P., Mantilaka, M. M. M. G. P. G., Fernando, C. A. N., Jayaweera, B. P. A., Weerathilake, W. A. D. V., Prathapasinghe, G. A., Liyanage, J. A., & Premarathne, J. M. K. J. K. (2022). Importance of Phosphorus in Farm Animals. *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 12(2), 203–210.

Marquis, P. H. (1999). Synchronisation de l'œstrus et insémination artificielle dans l'espèce caprine. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse.

Martens, H. (2021). Non-infections diseases : Grass tetany. *Encyclopedia of Dairy Sciences : Third Edition*, 1(December 2016), 398–404. Doi: 10.1016/b978-0-08-100596-5.00734-4

Martinez, N., Sinedino, L. D. P., Bisinotto, R. S., Ribeiro, E. S., Gomes, G. C., Lima, F. S., Greco, L. F., Risco, C. A., Galvão, K. N., Taylor-Rodriguez, D., Driver, J. P., Thatcher, W. W., & Santos, J. E. P. (2014). Effect of induced subclinical hypocalcemia on physiological responses and neutrophil function in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(2), 874–887. doi: 10.3168/jds.2013-7408

Matsui, T. (2007). Significance of magnesium in animals. In *New Perspectives in Magnesium Research : Nutrition and Health* (pp. 381–391). London: Springer London.

Mazerbourg, S., Bondy, C. A., Zhou, J., & Monget, P. (2003). The insulin-like growth factor system : A key determinant role in the growth and selection of ovarian follicles ? A comparative species study. *Reproduction in Domestic Animals.*, 28(4), 247–258.

Mbassa, G. K., & Poulsen, J. S. D. (1991). Influence of pregnancy, lactation and environment on some clinical chemical reference values in Danish Landrace dairy goats (*capra hircus*) of different parity—I. electrolytes and enzymes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, 100(2), 413–422.

McDonald, P., Edwards, R., Greenhalgh, J. F., Morgan, C., Sinclear, L., & Wilkinson, R. (2010). *Animal Nutrition Seventh Edition*. (Pearson Ed).

McDowell, L. R. (2003). *Minerals in animal and human nutrition*.

Mefti Korteby, H., Koudri, Z., & Saadi, M. A. (2017). Caractérisation des performances de la race ovine Algérienne Ouled Djellal type Djellalia dans des conditions steppiques. *Nature & Technology*, 17, 01–05. Retrieved from :<http://www.univ-chlef.dz/revuenatec/Forme révisée acceptée le :09/04/2017>

Meschy, F. (2007). Alimentation minérale et vitaminique des ruminants : Actualisation des connaissances. *Productions Animales*, 20(2), 119–128. doi: 10.20870/productions-animales.2007.20.2.3444

Meschy, F. (2010). *Nutrition minérale des ruminants*. (Quae).

Meschy, F. (2023). *Nutrition minérale des ruminants*. (Quae).

Meschy, F., & Guéguen, L. (1995). Ingestion et absorption des éléments minéraux majeurs.

Mion, B., Madureira, G., Spricigo, J. F. W., King, K., Van Winters, B., LaMarre, J., LeBlanc, S. J., Steele, M. A., & Ribeiro, E. S. (2023). Effects of source of supplementary trace minerals in pre- and postpartum diets on reproductive biology and performance in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 106(7), 5074–5095. Doi: 10.3168/jds.2022-22784

Mirnamniha, M., Faroughi, F., Tahmasbpour, E., Ebrahimi, P., & Beigi Harchegani, A. (2019). An overview on role of some trace elements in human reproductive health, sperm function and fertilization process. *Reviews on Environmental Health*, 34(4), 339–348.

Monniaux, D., Caraty, A., Clément, F., Dalbiès-Tran, R., Dupont, J., Fabre, S., Gérard, N., Mermillod, P., Monget, P., & Uzbekova, S. (2009). Développement folliculaire ovarien et ovulation chez les mammifères. *Productions Animales*, 22(2), 59–76. doi: 10.20870/productions- animales.2009.22.2.3335

Montané, L., Bourdelle, E., & Bressou, C. (1978). « Anatomie régionale des animaux domestiques II ». *Ed. Baillière et fils*, p. 473.

Montiel, L. (2007). Les variations de la phosphatémie chez les bovins laitiers. Université de Montréal.

Mouhous, A., Bouraine, N., & Bouaraba, F. (2013). L'élevage caprin en zone de montagne. Cas de la région de Tizi-Ouzou (Algérie).

Moula, N. (2018). Élevage ovin en Algérie : Analyse de situation. *En 9 -ème SIMV, Constantine*.

Moustari, A. (2008). Identification des races caprines des zones arides en Algérie. *Revue Des Régions Arides*, 21, 1378–1382.

Müller, D. N., Wilck, N., Haase, S., Kleinewietfeld, M., & Linker, R. A. (2019). Sodium in the microenvironment regulates immune responses and tissue homeostasis. *Nature Reviews Immunology*, 19(4), 243–254.

Nawito, M. F., Mahmoud, K. G. M., Kandiel, M. M. M., Ahmed, Y. F., & Sosa, A. S. A. (2015). Effect of reproductive status on body condition score, progesterone concentration and trace minerals in sheep and goats reared in South Sinai, Egypt. *African Journal of Biotechnology*, 14(43), 3001--3005.

Nolan, J. (2007). Nutrient requirements of domesticated ruminants.

O'Loughlin, P. D., & Morris, H. A. (2003). Oophorectomy acutely increases calcium excretion in adult rats. *Journal of Nutrition*, 133(7), 2277–2280. doi: 10.1093/jn/133.7.2277

Ogochukwu Nzopotam, J. (2019). Variations in Plasma Electrolytes and Thirst Perception During the Menstrual Cycle. *American Journal of Biomedical and Life Sciences*, 7(1), 6. doi: 10.11648/j.ajbls.20190701.12

Okab, A. B., Mekkawy, M. Y., Elbanna, I. M., Hassan, G. A., El-Nouty, F. D., & Salem, M. H. (1992). Seasonal changes in plasma volume, adrenocortical hormones, osmolality and electrolytes during pregnancy and at parturition in Barki and Rahmani ewes. 302–306.

Okediran, B. S., Amid, S. A., Suleiman, K. Y., Adah, A. S., Sanusi, F., & Olaifa, F. H. (2021). Electrolytes Changes in Male Rats Deprived of Feed and Water. *Assiut Veterinary Medical Journal(Egypt)*, 67(169), 202–208. doi: 10.21608/AVMJ.2021.188865

Ongphiphadhanakul, B., Rajatanavin, R., Challurkit, L., Piaseu, N., Teerarungsikul, K., Sirisriro, R., Komindr, S., & Puavilai, G. (1995). Serum testosterone and its relation to bone mineral density and body composition in normal males. *Clinical Endocrinology*.

Ortavant, R., Bocquier, F., Pelletier, J., Ravault, J. P., Thimonier, J., & Volland-Nail, P. (1988). Seasonality of Reproduction in Sheep and its Control by Photoperiod. *Australian Journal of Biological Sciences*, 41(1), 69–86. doi: 10.1071/BI9880069

Pardal, P., Batista, R., Gromicho, R., & Carolino, N. (2017). Reproductive performance of Saanen and Alpine goats in three different breeding seasons. *Actas Iberoamericanas de Conservación Animal*, 9, 76--81.

Parmar, S. C., Khasatiya, C. T., Chaudhary, J. K., Patel, R. V., & Dhamsaniya, H. B. (2015). Serum metabolic and minerals profile in norgestomet primed postpartum anestrous surti buffaloes. *Veterinary World*, 8(5), 625–630. doi: 10.14202/vetworld.2015.625-630

Parmar, S. C., & Patel, M. (2015). Serum Progesterone and Oestradiol-17B Profile in Norgestomet Primed Postpartum Silent Estrus Surti Buffaloes. *February*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/326247309>

Pascal, C., & Zaharia, N. (2016). Evaluation of the reproduction function of goats in Romania. *Seria Zootechni, May*.

Patra, A. K., Amasheh, S., & Aschenbach, J. R. (2019). Modulation of gastrointestinal barrier and nutrient transport function in farm animals by natural plant bioactive compounds – A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *59*(20), 3237–3266.

Patterson, H. H., Adams, D. C., Klopfenstein, T. J., Clark, R. T., & Teichert, B. (2003). Supplementation to meet metabolizable protein requirements of primiparous beef heifers : II. Pregnancy and economics. *Journal of Animal Science*, *81*(3), 563–570. doi: 10.2527/2003.813563x

Paul, C. (2006). Étude des mécanismes de réception des phéromones mâles chez les petits ruminants. (Issue ED n°446). L'Université de Lille.

Pellicer-Rubi, M.-T., Boissard, K., Grizelj, J., Vince, S., Fréret, S., Fatet, A., & Lopez-Sebastian, A. (2019). Vers une maîtrise de la reproduction sans hormones chez les petits ruminants. *INRA Productions Animales*, *32*(1), 51–66. doi: 10.20870/productions-animales.2019.32.1.2436

Pfeffer, E., & Hristov, A. N. (2005). Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle: reducing the environmental impact of cattle operations.

Piccione, G., Scianò, S., Messina, V., Casella, S., & Zumbo, A. (2011). Changes in serum total proteins, protein fractions and albumin-globulin ratio during neonatal period in goat kids and their mothers after parturition. *Annals of Animal Science*, *11*(2), 251–260.

Rallis, T., & Papasteriadis, A. (1987). A study on iron and copper concentrations of foetal liver in sheep. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, *34*(1–10), 582--584.

Ramaswamy, S., & Weinbauer, G. F. (2014). Endocrine control of spermatogenesis: Role of FSH and LH/testosterone. *Spermatogenesis*, *4*(2), e996025.

Ramírez-Pérez, A., Buntinx, S., & Rosiles, R. (2000). Effect of breed and age on the voluntary intake and the micromineral status of non-pregnant sheep: II. Micromineral status. *Small Ruminant Research*, *37*(3), 231--242.

Reece, W. O. (1991). Physiology of domestic animals.

Ribeiro, L. P. S., Medeiros, A. N., Carvalho, F. F. R., Pereira, E. S., Souza, A. P., Santos Neto, J. M., Bezerra, L. R., Santos, S. A., & Oliveira, R. L. (2018). Performance and mineral requirements of indigenous Canindé goats. *Small Ruminant Research*, 169(August 2017), 176–180. doi: 10.1016/j.smallrumres.2018.10.005

Ribeiro, N. L., Costa, R. G., Pimenta Filho, E. C., Ribeiro, M. N., Crovetto, A., Saraiva, E. P., & Bozzi, R. (2016). Adaptive profile of Garfagnina goat breed assessed through physiological. *Small Ruminant Research*, 144, 236–241.

Rodriguez-Giustiniani, P., Rodriguez-Sanchez, N., & Galloway, S. D. R. (2022). Fluid and electrolyte balance considerations for female athletes. *European Journal of Sport Science*, 22(5), 697–708. doi: 10.1080/17461391.2021.1939428

Rosol, T. J., & Capen, C. C. (1997a). Calcium-regulating hormones and diseases of abnormal mineral (calcium, phosphorus, magnesium) metabolism. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*, Academic press, 619–702.

Rosol, T. J., & Capen, C. C. (1997b). Calcium-regulating hormones and diseases of abnormal mineral (calcium, phosphorus, magnesium) metabolism. *Clinical Biochemistry of Domestic Animals*, 619--702.

Russell, K. E., & Roussel, A. J. (2007). Evaluation of the ruminant serum chemistry profile. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 23(3), 403–426.

Russell, L. D., Ettlin, R. A., Hikim, A. P. S., & Clegg, E. D. (1993). Histological and histopathological evaluation of the testis.

Sadjadian, R., Seifi, H. A., Mohri, M., Naserian, A. A., & Farzaneh, N. (2013). Variations of energy biochemical metabolites in periparturient dairy Saanen goats. *Comparative Clinical Pathology*, 22(3), 449–456. doi: 10.1007/s00580-012-1431-8

Saeed, A., Khan, I. A., & Hussein, M. M. (2009). Change in biochemical profile of pregnant camels (*Camelus dromedarius*) at term. *Comparative Clinical Pathology*, 18(2), 139–143.

Safsaf, B. (2014). Effet de la sous-alimentation sur certains paramètres de reproduction des brebis de race Ouled djellal. Université de Batna.

Şahin, Ö., Aytakin, İ., Boztepe, S., Keskin, İ., Karabacak, A., Altay, Y., & Bayraktar, M. (2022). Relationships between Famacha scores and some blood values in sheep and goats. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 46(2), 314–321. doi: 10.55730/1300-0128.4179

Sahraoui, H., Kermouche, F., & Madani, T. (2016). Le développement d'une filière lait caprin en régions de montagne : un atout pour un développement régional durable en Algérie. *Options Méditerranéennes. Series A: The Value Chain in Mediterranean Sheep and Goats. Industry Organisation, Marketing Strategies, Feeding and Production Systems*, 681(115), 677–681. Retrieved from <http://om.ciheam.org/om/pdf/a115/00007352.pdf>

Saidani, K., Ziam, H., Hamiroune, M., Righi, S., & Benakhla, A. (2019). Small ruminant rearing in Kabylia, Algeria, and prospects for its development. *Revue d'Elevage et de Médecine Veterinaire Des Pays Tropicaux (France)*, 72(2), 49–54. doi: 10.19182/remvt.31745

Saleem, A., Saleem, M., & Akhtar, M. F. (2020). Antioxidant, anti-inflammatory, and antiarthritic potential of *Moringa oleifera* Lam: An ethnomedicinal plant of the Moringaceae family. *South African Journal of Botany*, 128, 246–256. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.023>

Satué, K., Fazio, E., Muñoz, A., & Medica, P. (2021). Endocrine and electrolyte balances duringperioovulatory period in cycling mares. *Animals*, 11(2), 1–12. doi: 10.3390/ani11020520

Schaffer, S., Rimbach, G., Pieper, D., Hommen, N., Fischer, A., Birringer, M., & Seidel, U. (2022). Minerals and Trace Elements in 990 Beverages and Their Contribution to Dietary Reference Values for German Consumers. *Nutrients*, 14(22). doi: 10.3390/nu14224899

Schweinzer, V., Iwersen, M., Drillich, M., Wittek, T., Tichy, A., Mueller, A., & Krametter-Froetscher, R. (2017). Macromineral and trace element supply in sheep and goats in Austria. *Veterinari Medicina*, 62(2), 62–73. doi: 10.17221/243/2015-VETMED

Sengev, A. I., Abu, J. O., & Gernah, D. I. (2013). Effect of *Moringa oleifera* Leaf Powder Supplementation on Some Quality Characteristics of Wheat Bread. *Food and Nutrition Sciences*, 04(03), 270–275. doi: 10.4236/fns.2013.43036

Setchell, B. P. (1991). Male reproductive organs and semen. *Reproduction in domestic animals (Reproduction)*.

Sharma, A. K., & Kataria, N. (2012). Influence of season on some serum metabolites of Marwarigoats. *Indian Journal of Small Ruminants (The)*, 18(1), 52–55.

Sharma, M. C., Joshi, C., Das, G., & Hussain, K. (2007). Mineral nutrition and reproductive performance of the dairy animals: A review. *Indian Journal of Animal Sciences*, 77(7), 599–608.

Siddiqui, A. M., Siddiqui, M. M., Siddiqui, S. M., & Fatima, S. A. (2018). Iron intake and risk of ovulatory infertility. *Pakistan Journal of Medical and Health Sciences*, 12(1), 135–137.

Singh, J., Hundal, J. S., Sharma, A., Singh, U., Sethi, A. P. S., & Singh, P. (2018). Phosphorus Nutrition in Dairy Animals: A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(04), 3518–3530. doi: 10.20546/ijcmas.2018.704.397

Skaar, E. P. (2010). The battle for iron between bacterial pathogens and their vertebrate hosts. *PLoS Pathogens*, 6(8), 1–2. doi: 10.1371/journal.ppat.1000949

Soares, G. S. L., Souto, R. J. C., Cajueiro, J. F. P., Afonso, J. A. B., Rego, R. O., Macêdo, A. T.M., Soares, P. C., & Mendonça, C. L. (2018). Adaptive changes in blood biochemical profile of dairy goats during the period of transition. *Revue de Medecine Veterinaire*, 169(1–3), 65–75.

Soltner, D. (1993). « Zootechnie générale, la reproduction des animaux d'élevage ». Tome 1, (Edition INRA).

Sordillo, L. M. (2016). Nutritional strategies to optimize dairy cattle immunity. *Journal of Dairy Science*, 99(6), 4967–4982. doi: 10.3168/jds.2015-10354

Spencer, B. H. (2015). Essentiality of Trace Element Micronutrition in Human Pregnancy : A Systematic Review. *Journal of Pregnancy and Child Health*, 02(03). doi: 10.4172/2376-127x.1000157

Sun, B., & Yeh, J. (2021). Calcium oscillatory patterns and oocyte activation during fertilization : a possible mechanism for total fertilization failure (TFF) in human in vitro fertilization ? *Reproductive Sciences*, 28(3), 639–648.

Suttle, N. (2011). Nutrients, Digestion and Absorption| Absorption of Minerals and Vitamins.

Syeda, S. S., Sánchez, G., McDermott, J. P., Hong, K. H., Blanco, G., & Georg, G. I. (2020). The Na⁺ and K⁺ transport system of sperm (ATP1A4) is essential for male fertility and an attractive target for male contraception. *Biology of Reproduction*, 103(2), 343–356. doi: 10.1093/biolre/ioaa093

Talukdar, D. J., Talukdar, P., & Ahmed, K. (2016). Minerals and its impact on fertility of livestock: A review. *Agricultural Reviews*, 37(4), 333–337. doi: 10.18805/ag.v37i4.6464

Tanritanir, P., Dede, S., & Ceylan, E. (2009). Changes in some macro minerals and biochemical parameters in female healthy Siirt hair goats before and after parturition. In *Journal of Animal and Veterinary Advances* (Vol. 8, Issue 3, pp. 530–533).

Tensaba, R. S., Kiema, A., & Zongo, M. (2022). Analyse des pratiques paysannes de reproduction et d ’ exploitation des petits ruminants en zone périurbaine de la ville de Kaya. *53(2)*, 9680–9688.

Thibault, C., & Levasseur, M. C. (2001). La reproduction chez les mammifères et l’homme. (Editions Q).

Thimonier, J., Mauléon, P., Bézard, J., De Reviere, M. M., & Cornu, C. (1969). Variations saisonnières du comportement d’œstrus et des activités ovarienne et hypophysaire chez les ovins. In *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique. Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique*, 9(2), 233–250. doi: 10.3917/poesi.136.0040

Thionoane, Y. (1982). Contribution a L’Etude De L’Alimentation Minerale Des Bovins Au Senegal “Les Macro - Elements” These. *Paper Knowledge. Toward a Media History of Documents*.

Thiruvankadan, A. K., Chinnamani, K., Muralidharan, J., & Karunanithi, K. (2008). Effect of non-genetic factors on birth weight of Mecheri sheep of India. *Livestock Research for Rural Development*, 20(6).

Tibary, A., Boukhliq, R., & Allali, K. El. (2018). Ram and Buck Breeding Soundness Examination. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét*, 6(2), 241–255.

Tibary, A., Boukhliq, R., Adnani, M., & Toe, F. (1988). Importance de l’examen du bélier en gestion de la reproduction ovine : variations physiologiques de la qualité du sperme et dominantes pathologiques. *XVIIIe Journées de l’Association Nationale Pour La Production Animale*, 10.

Tiwari, R. K., Sachan, V. K., Singh, N. K., Nautiyal, P., Papnai, G., & Gupta, J. P. (2014). Effect of Supplementing Mineral Mixture Daily on Body Weight Gain in Male Goats. *Journal of Krishi Vigyan*, 3(1), 24. doi: 10.5958/2349-4433.2014.01243.4

Tshabalala, T., Ncube, B., Madala, N.E., Nyakudya, T.T., Moyo, H.P., Sibanda, M., Ndhlala, A.R., 2019. Scribbling the Cat: A Case of the "Miracle" Plant, *Moringa oleifera*. *Plants* 8, 510. <https://doi.org/10.3390/plants8110510>.

Uslu, B. A., Mis, L., Gulyuz, F., Comba, B., Ucar, O., Tasal, I., Comba, A., Kosal, V., Sendag, S., & Wehrend, A. (2017). Is there a relationship between serum minerals (Ca, Mg) and trace elements (Cu, Fe, Mn, Zn) at mating on pregnancy rates in fat-tailed Morkaraman sheep? *Indian Journal of Animal Research*, 51(2), 256–262. doi: 10.18805/ijar.v0iOF.7258

Vaissaire, J. P., Secchi, J., Hunt, A., & Lagneau, F. (1977). *Sexualité et reproduction des mammifères domestiques et de laboratoire*. Paris.

Vasava, P. R., Jani, R. G., Goswami, H. V., Rathwa, S. D., & Tandel, F. B. (2016). Studies on clinical signs and biochemical alteration in pregnancy toxemic goats. *Veterinary World*, 9(8), 869–874. doi: 10.14202/vetworld.2016.869-874

Vázquez-Armijo, J. F., Rojo, R., Salem, A. Z. M., López, D., Tinoco, J. L., González, A., Pescador, N., & Domínguez-Vara, I. A. (2011). Trace elements in sheep and goats' reproduction: A review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(1), 1–13.

Vincent, P. (2023). *Génotoxicité des rayonnements ionisants au cours de l'ovogenèse chez les mammifères*. Université Paris-Saclay. Retrieved from <https://theses.hal.science/tel-04322529>

Waba, E., Mbap, S. T., Kalla, D. J., & Mancha, Y. P. (2023). Influence of Breeds, Physiological Status and Different Feeds on Biochemical Parameters of Goats in Bali, Taraba State. *FUDMA Journal of Agriculture and Agricultural Technology*, 8(2), 153–165. doi: 10.33003/jaat.2022.0802.21

Wikipedia. (2023). Retrieved from https://fr.wikipedia.org/wiki/Ksar_Chellala

Wikipédia. (2020). Retrieved from <https://fr.wikipedia.org/wiki/Makouda>

Wikipédia. (2022). Retrieved from <https://fr.wikipedia.org/wiki/Mellakou>

Wolter, R. (1997). *Alimentation de la vache laitière* 3e édition. Editions F

Xing, X., Zhang, C., Ji, P., Yang, J., Li, Q., Pan, H., & An, Q. (2023). Effects of Different Iron Supplements on Reproductive Performance and Antioxidant Capacity of Pregnant Sows as Well as Iron Content and Antioxidant Gene Expression in Newborn Piglets. *Animals*, *13*(3). doi: 10.3390/ani13030517

Yabrir, B., Laoun, A., Chenouf, N. S., & Mati, A. (2015). Caractéristiques des élevages ovins de la steppe centrale de l'Algérie en relation avec l'aridité du milieu : Cas de la wilaya de Djelfa. *Livestock Research for Rural Development*, *27*(10).

Yendraliza, Y., Febriyanti, R., & Rodiallah, M. (2020). Comparison of the reproductive performance of the Kacang goats on three synchronization methods. *Livestock and Animal Research*, *18*(3), 265. doi: 10.20961/lar.v18i3.42188

Yokus, B., Cakir, D. U., & Kurt, D. (2004). Effects of seasonal and physiological variations on the serum major and trace element levels in sheep. *Biological Trace Element Research*, *101*(3), 241–255. doi: 10.1385/BTER:101:3:241

Zarrouk, A., Souilem, O., Drion, P. V., & Beckers, J. F. (2001). Caractéristiques de la reproduction de l'espèce caprine. *Annales de Medecine Veterinaire*, *145*(2), 98–105.

Zhang, W. F., Tian, M., Song, J. S., Chen, F., Lin, G., Zhang, S. H., & Guan, W. T. (2021). Effect of replacing inorganic trace minerals at lower organic levels on growth performance, blood parameters, antioxidant status, immune indexes, and fecal mineral excretion in weaned piglets. *Tropical Animal Health and Production*, *53*, 1–8.

Zhang, X., Ge, Y., Bukhari, A. A. S., Zhu, Q., Shen, Y., Li, M., Sun, H., Su, D., & Liang, X. (2019). Estrogen negatively regulates the renal epithelial sodium channel (ENaC) by promoting Derlin-1 expression and AMPK activation. *Experimental and Molecular Medicine*, *51*(5). Doi: 10.1038/s12276-019-0253-z

Zhou, J., Zhang, J., Xue, B., Yue, S., Yang, C., & Xue, B. (2021). Effects of prepartum calcium and phosphorus supplementation on reproduction efficiency of grazing yak heifers. *Animals*, *11*(2), 1–9. doi: 10.3390/ani11020554

Zumbo, A., Sciano, S., Messina, V., Casella, S., di Rosa, A. R., & Piccione, G. (2011). Haematological profile of messinese goat kids and their dams during the first month post-partum. *Animal Science Papers & Reports*, 29(3).

Annexes

Annexe 01 : Fiche d'élevage

INFORMATIONS GENERALES :

- Nom d'élevage/ferme : - Code d'élevage :
- Période d'enquête :
- Lieu d'élevage/ferme :
- Type d'élevage : Industriel Familial
- Effectif total :
 - Nombre de mâles :
 - Nombre de femelles :
- Espèce : Ovin Caprin
- La race :
- Niveau de production laitière : litre/jour

CONDUITE DU TROUPEAU :

- Type d'alimentation :
- Fourrages verts herbe de pâturage fourrages secs ensilage concentré
CMV
- Quantité : kg/j
- Vaccinations : PPR Entérotoxémie Rage autre :

PARAMETRES LIES AUX PERFORMANCES DE LA REPRODUCTION :

- Nombre de femelles mises à la lutte :
- Nombre de femelles ayant mis-bas :
- Nombre de nouveaux-nés :
- Nombre de mortalité néonatale :

Annexe 02 : Fiche d'animal

FICHE N°

- Code de l'élevage :
 - Date de prélèvement :
 - Matricule animal (code) :
 - Race :
 - Age :
 - Lieu de la ferme :
 - Heure de prélèvement :
 - Espèce :
 - Sexe :
 - NEC :
-
- Poids des chèvres :
 - Etat physiologique :
 - Vide
 - Gestante
 - Primipare
 - Multipare
 - Stade physiologique :
 - Type de chaleurs : Chaleurs naturelles Chaleurs synchronisées
 - Type de saillie : Saillie naturelle IA
 - Type d'agnelage : Normal Dystocique
 - Nombre de fœtus de la dernière portée :
 - Age au premier agnelage :
 - Intervalle chevrotement- saillie (en jours) :
 - Intervalle chevrotement – chevrotement (en jours) :
 - Mortalité embryonnaire : Oui Non
 - Stade :
 - Nombre d'agneaux morts :
 - Avortement : Oui Non
 - Stade :
 - Flushing : Oui Non
 - Complémentation minérale et vitaminique pendant cette période : Oui Non
 - Type de compléments :
 - Période de lutte :
 - Diagnostic de gestation :
 - La palpation trans-abdominale Le non-retour en chaleurs Echographie
 - Antécédents pathologiques :
 - Type : Période :
 - Antécédents thérapeutiques :
 - Type : Durée :
 - Antécédents prophylactiques :
 - Autres :

Annexe 03 : Certificat d'éthique.



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Democratic and Popular Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research



CERTIFICATE OF ETHICAL APPROVAL
USTHB-Ethical committee of animal experimentation accredited by USTHB Rectorate and required under the reference (N°CCEA/01) in 15 June 2021

Dear **GUEBLI Boutheyna**,
Thank you for your correspondence dated 22/02/2024 addressing request to CEEA-USTHB. After your project examination, The Executive Committee approved your protocol entitled « Mineral profile impact on reproductive parameters in small ruminants in Algeria ».

Details of the approval are as follows :
Ref N° : ...CEEA-USTHB-15-2024/11125
Approval period : 06th March 2024 to 31st March 2026

Authorized personnel : **GUEBLI Boutheyna**
SMAIL Fadhila

Institution : Institute of veterinary sciences, University of Tiaret, Tiaret, Algeria, Laboratory of Research on Local Animal Products, University of Tiaret, Tiaret, Algeria.

Title of Project: « Metabolic parameters study in ruminants of Tiaret region ».

Project Reference : PRFLU/Code : D01N01UN140120220001

Name, Title of Project Research Correspondent Member :
GUEBLI Boutheyna : PhD Student
Project Contact Point Email : boutheyna.guebli@univ-tiaret.dz

Brief Description of Project:
Changes in metabolic requirements during the reproductive cycle can cause nutritional imbalance in female goat *Capra hircus* and sheep *Ovis aries*, leading to pathological conditions. Therefore, mineral deficiency during the peripartum period leads to direct and indirect economic losses. The aim of this study is to evaluate the reproductive performance of goat and sheep in Algeria and to determine and monitor the influence of variations in plasma mineral levels during the mating, gestation and postpartum periods.

The CEEA is a fully constituted Ethics Committee in accordance with the National Statement on ethical conduct in research involving laboratory Animal-Law No. 09-09 of 26th January, 1999 related to veterinary medicine and the protection of animal health.

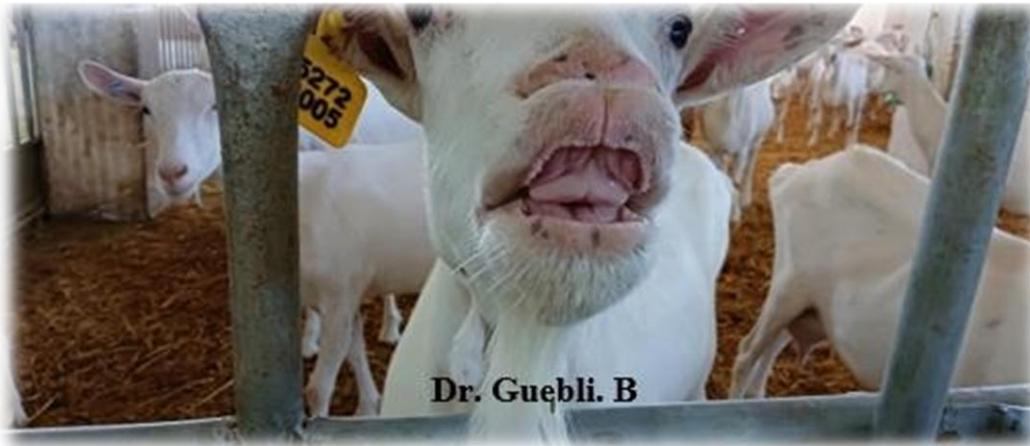
Date : 06/03/2024
Chair of Ethic Committee

Farida KHAMMAR

Annexe 04 : Les chèvres de la race Alpine et Saanen.



Annexe 05 : Expressions des signes de chaleurs chez les races Alpine et Saanen.



Annexe 05 : Expressions des signes de chaleurs chez les races Alpine et Saanen



Annexe 06 : Les chèvres de la race Arbia.



Annexe 07 : Les brebis de la race Rambi et Ouled



Annexe 08 : Période d'accouplement des brebis.



Annexe 09 : Diagnostic de gestation.



Annexe 10 : Prélèvement sanguin.



Annexe 11 : Les brebis gestantes supplémentées.



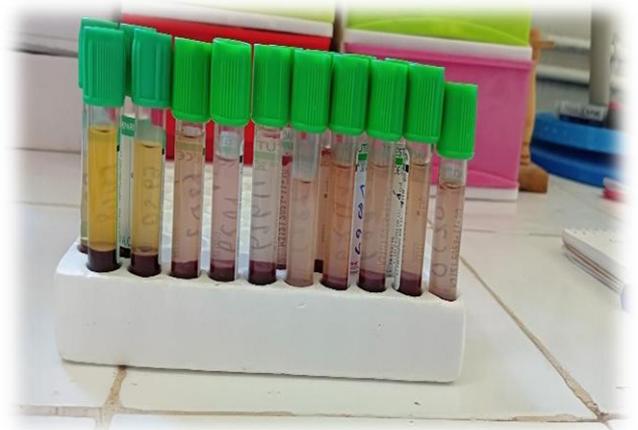
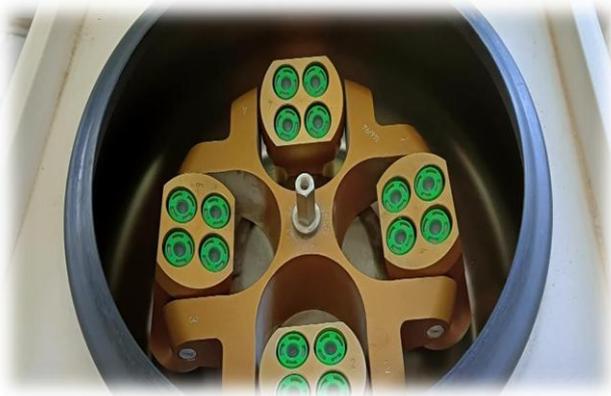
Annexe 11 : Les brebis gestantes supplémentées (suite).



Annexe 12 : Préparation de la supplémentation à base de *Moringa oleifera*.



Annexe 13 : Séparation du plasma sanguin.



Annexe 14 : Analyses de laboratoire (tests biochimiques).



Analyseur de chimie automatique (modèle : CS-T180).

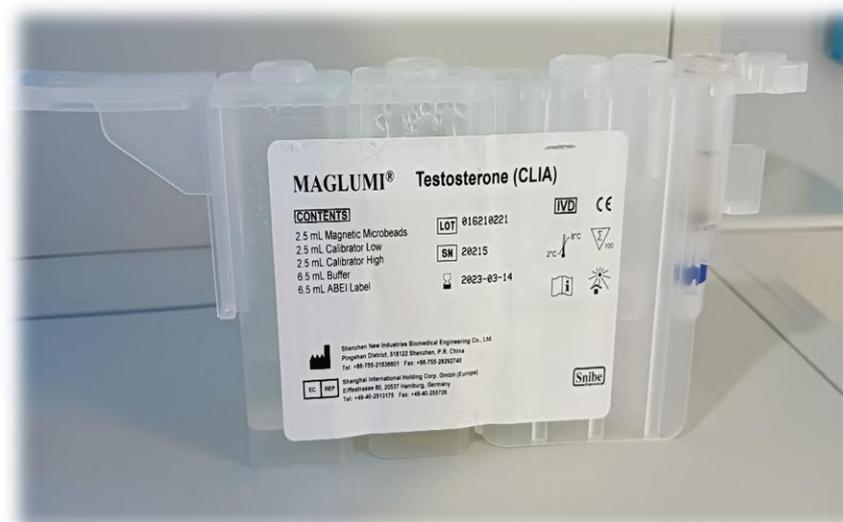
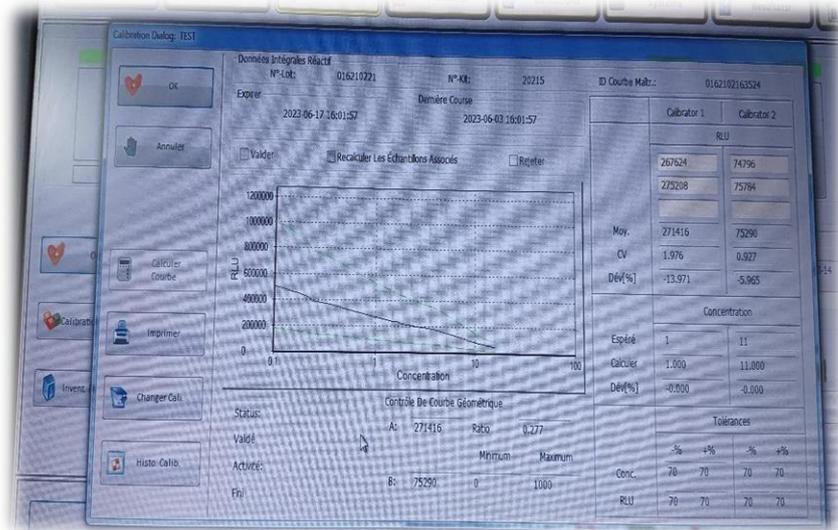
Annexe 14 : Analyses de laboratoire (tests biochimiques)



Analyseur MEDICA Easylyte Na, K, Cl.

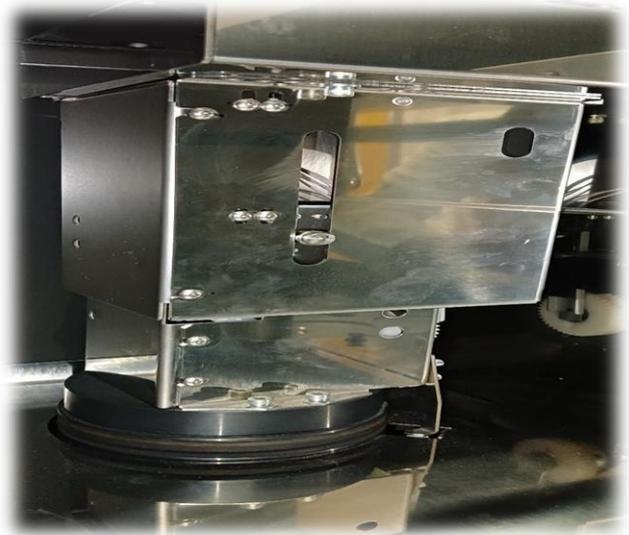
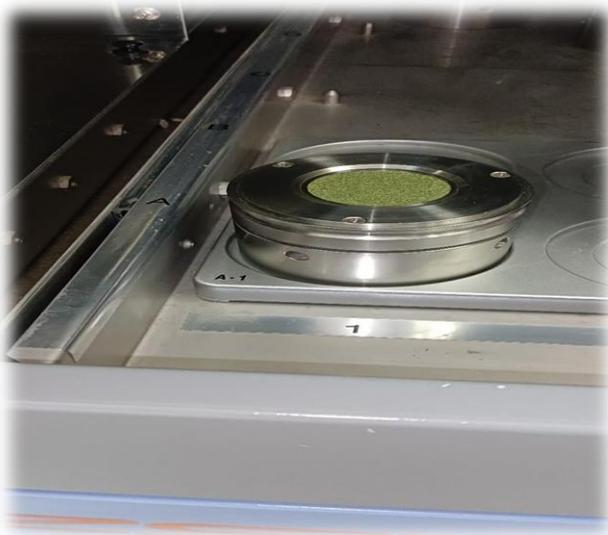


Annexe 14 : Analyses de laboratoire (analyse hormonale)



Snibe (MAGLUMI 600).

Annexe 15 : Analyse de la plante.



ZSX Primus II de Rigaku.