



République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI OUZOU  
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques  
Département de Biologie

## Mémoire de projet de fin d'études

En vue l'obtention du diplôme de Master en Sciences Biologiques

**Option :** Biologie Physiologie de la Reproduction

**Thème :**

**Effet De l'Hyperthermie Scrotale Sur Les  
Paramètres Structuro-Fonctionnels De  
l'Appareil Reproducteur Mâle De  
*Meriones libycus*.**

**Présenté par :**

**Mlle MOHELLEBI Nora**

**Mlle MEZANI Thinhinane**

**Membres de jury :**

**Présidente : Mme BENABDESSELAM R.**    Professeur-FSBSA    UMMTO

**Promoteur: Mr KHEDDACHE A.**    MCB –FSBSA    UMMTO

**Examinatrice : Mme GUENDOUZI S.**    MAA-FSBSA    UMMTO

**Promotion : 2021/2022**

# *Remerciements*

Nous tenons d'abord à remercier Dieu pour la volonté et le courage et la patience qu'il nous a donné pour mener à bien ce travail.

À notre promoteur comme il devrait y en avoir plus souvent **Mr KHEDDACHE A., MCB- FSBSA UMMTO** d'avoir apporté un éclairage scientifique précieux. Pour tout le soutien qu'il nous a apporté, les conseils et la patience dont il a fait preuve durant toute la durée de ce travail et merci surtout pour tout le temps qu'il nous a consacré pour la réalisation de ce mémoire.

Nos sincères remerciement à **Madame BENABDESSELAM R., Professeur-FSBSA-UMMTO** d'avoir accepté de présider ce jury et d'examiner notre humble travail

Ainsi qu'à **Madame GUENDOUI S. MCA-FSBSA-UMMTO** qui a bien voulu nous accorder une partie de son temps pour expertiser et juger ce mémoire.

Nous voudrions aussi exprimer notre reconnaissance envers tous les enseignants qui nous ont soutenues, formés et contribués à notre réussite tout au long de notre cursus universitaire.

Nous tenons aussi à remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## *Dédicaces*

*Je dédie ce mémoire à mes parents et mes sœurs, les êtres les plus chers à mon cœur.*

*À mon papa, le meilleur papa du monde. À celui qui m'aime inconditionnellement et que j'aime tout autant, merci d'avoir dédié ta vie à nous rendre heureuse, merci pour ton amour, ta générosité, ta compréhension, ton éducation et ta confiance.*

*À ma maman, la meilleure maman du monde, celle qui m'encourage toujours et me donne confiance en moi et en mes capacités et qui fait tout pour me tirer vers le haut, qui a toujours un mot gentil pour moi. Je t'aime et merci de m'avoir poussé dans cette voie.*

*J'espère que vous êtes fiers de moi même si je ne suis pas toujours facile. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour et la reconnaissance que j'éprouve à votre égard.*

*À mes deux sœurs que j'aime plus que tout, à Célia pour nos moments de complicité et de rire et aux bons conseils que tu n'hésites jamais à me donner. Je te souhaite tout le bonheur du monde et bien plus.*

*À ma tante préférée (Nana Samia), je te considère comme une deuxième maman pour moi, il n'y a pas un moment où tu n'as pas été là pour moi, à me soutenir, me donner des conseils et m'épauler, je t'en serais éternellement reconnaissante. Je t'aime.*

*À mes chats qui sont toujours là pour me remonter le moral.*

*À ma binôme, amie, Thinhinane que je considère comme étant ma troisième sœur, je ne pourrais imaginer ma vie sans toi, je n'oublierais jamais nos moments ensemble, tu m'as apporté tellement de bonne chose dans ma vie que j'espère en avoir fait autant.*

*À toutes les personnes qui compte pour moi.*

*Nora*

## *Dédicaces*

*Du profond de mon cœur, j'offre ce travail et je dédie le fruit de ces longues années d'études à tous ceux qui me sont chers :*

*À mes parents, de m'avoir élevée, dirigée vers le bon chemin, qu'il retrouve ici l'expression de ma reconnaissance, j'espère que vous êtes fiers de moi, que dieu vous procure la bonne santé et longue vie.*

*À nana « Chafia » et dada « Omar », ma deuxième famille, merci pour votre amour, vous m'avez considéré comme l'une de vos filles, j'ai passé des moments inoubliables avec vous je vous souhaite une longue vie et santé.*

*À mes deux sœurs « Ihanina » et « Agnès » que de la joie et la réussite dans votre vie nchallah.*

*À mon petit frère « Amayes » à qui je souhaite le succès dans son parcours scolaire.*

*À ma chère « Célia », merci d'être pour moi la sœur, la copine, que j'aime trop, je te souhaite le bonheur dans ta vie, le succès pour ta dernière année d'études.*

*À nana « Samia », une pensée très spéciale envers toi pour ton soutien moral et ton amour.*

*À ma très chère binôme « Nora », que j'aime trop, pour tous les moments qu'on a vécus ensemble, pour tous les moments d'émotions partagés en réalisant ce travail, j'espère que notre amitié durera éternellement je te souhaite un avenir radieux merci pour tous tes efforts, pour tout ce que tu as fait pour réussir ce travail.*

*À mon bras droit, merci énormément pour tes conseils, ton soutien qui me donne la force de continuer, et l'envie d'aller en avant, merci pour toutes les bonnes choses qui seront trop longues à citer.*

*À tous ceux qui me sont chers et comptent beaucoup pour moi, à toute personne qui m'a prodiguée des encouragements et se sont donné la peine de me soutenir durant cette année.*

*À toute ma famille.*

*À tous ceux qui ont cru en moi.*

*Ithinane*

# SOMMAIRE

## Liste des tableaux et figures

Introduction.....	1
-------------------	---

## Rappels Bibliographique sur le testicule

1. Généralités sur l'appareil reproducteur mâle.....	3
2. Testicules .....	4
2.1. Organisation anatomique .....	4
2.2. Histologie fonctionnelle du testicule .....	7
2.2.A. Tube séminifère.....	7
2.2.A.a. Cellules de Sertoli .....	8
2.2.A.b. Cellules de la lignée germinale .....	9
2.2.B. Barrière hémato-testiculaire ou barrière sang-testicule (BHT).....	12
2.2.C. Tissu interstitiel.....	13
2.3. Régulation de la fonction testiculaire .....	15
3. Anomalies spermatiques .....	16
3.1. Anomalies en relation avec le volume spermatique .....	17
3.2. Anomalies du nombre de spermatozoïdes .....	18
3.3. Anomalies de la qualité du sperme .....	18
4. Effets de l'environnement sur la fonction de la reproduction .....	20
4.1. Photopériode .....	20
4.2. Alimentation .....	21

4.3. Température .....	21
------------------------	----

## **Matériel et Méthodes**

1. Matériels biologiques et biotope .....	23
1.1. Description du modèle animal et systématique .....	23
1.2. Caractéristiques du biotope .....	24
2. Expérimentation animale .....	25
2.1. Capture et constitution des lots .....	25
2.2. Sacrifice et prélèvement d'organes .....	26
3. Analyses des échantillons .....	27
3.1. Analyses spermatiques .....	27
3.2. Analyse histologique .....	29
3.3. Etude statistique .....	32

## **Résultats**

1. Effets de l'hyperthermie scrotale sur les paramètres biométriques .....	33
1.1. Poids du corps .....	33
1.2. Poids des testicules .....	33
1.3. Poids des épидидymes .....	34
1.4. Poids des vésicules séminales et prostatique .....	35
2. Effets de l'hyperthermie scrotale sur les paramètres spermatiques .....	36
2.1. Nombre des spermatozoïdes .....	36
2.2. Mobilité des spermatozoïdes .....	38

2.3. Vitalité des spermatozoïdes .....	39
3. Effets de l'hyperthermie scrotale sur l'histologie testiculaire .....	40

### **Discussion**

1-Répercutions de l'hyperthermie scrotale sur les paramètres biométriques des composants de l'appareil reproducteur .....	42
2-Répercutions sur les paramètres spermatiques .....	43
3-Répercutions sur la structure histologique du testicule .....	44
<b>Conclusion .....</b>	<b>46</b>

### **Références Bibliographiques**

### **Résumé**

**Tableaux**

**Tableau I** : Description de la motilité massale des spermatozoïdes.....17

**Figures**

**Figure 01** : Appareil reproducteur mâle de la souris adulte.....3

**Figure 02** : Représentation schématique des enveloppes testiculaires .....6

**Figure 03** : coupe transversale au niveau du testicule d'une souris mâle adulte ....6

**Figure 04** : schéma de la structure histologique d'une partie d'un tube séminifère chez l'homme .....7

**Figure 05** : Schéma représentatif des différentes fonctions des cellules de Sertoli.9

**Figure 06** : Phases de la spermatogenèse et types de cellules germinales concernés .....11

**Figure 07** : Schéma d'un spermatozoïde humain .....12

**Figure 08** : Schéma montrant la disposition du tissu interstitiel testiculaire .....13

**Figure 09** : Biosynthèse des hormones stéroïdes au niveau des cellules de Leydig 15

**Figure 10** : régulation de la fonction testiculaire .....16

**Figure 11** : Anomalies spermatiques.....19

**Figure 12** : Photo d'un mérion de Libye (*Meriones libycus*).....23

**Figure13** : Anesthésie injectée en intramusculaire (A) et hyperthermie scrotale (B) des *Meriones libycus* adultes.....26

**Figure 14** : Appareil reproducteur du *Meriones libycus* mâle adulte chez le témoin (A) et après hyperthermie scrotale (B) .....27

**Figure 15** : analyse de concentration grâce à la lame de Malassez .....28

**Figure 16** : Loi et quadrillage de la lame de Malassez .....28

**Figure 17** : Organes reproducteurs et prostates des mérions fixé .....29

**Figure 18** : Etapes de l'inclusion dans des moules .....30

**Figure 19** : photographie d'un microtome .....31

## Liste des tableaux et figures

- Figure 20** : Représentation graphique montrant la différence du poids corporel des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (HSc) (n=4).....33
- Figure 21** : Représentation graphique montrant la différence du poids absolu moyen des testicules des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).....34
- Figure 22** : Représentation graphique montrant la différence du poids relatif testiculaire entre les *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).....34
- Figure 23** : Représentation graphique montrant la différence du poids moyen des épидидymes proximaux des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant une hyperthermie scrotale (n=4).....35
- Figure 24** : Représentation graphique montrant la différence du poids moyen des épидидymes distaux des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).....35
- Figure 25** : Représentation graphique montrant la différence du poids moyen des vésicules séminales des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).....36
- Figure 26** : Représentation graphique montrant la différence du poids moyen de la prostate des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).....36
- Figure 27** : dénombrement des spermatozoïdes sur lacellule de Malassez au Gx400 .....37
- Figure 28** : Représentation graphique montrant l'évolution de le nombre de spermatozoïdes (spz) dans 1ml de semence chez les *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4). .....38
- Figure 29** : Représentation graphique montrant la différence de la mobilité des spermatozoïdes (Spz) chez les *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4). .....38
- Figure 30** : Photographie montrant les spermatozoïdes (Spz) vivants (colorés en blanc) et morts (colorés en rose) après coloration à l'éosine 1% au Gx400 (originale 2022) .....39
- Figure 31** : Représentation graphique montrant la différence de la vitalité des spermatozoïdes chez les *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).....40
- Figure 32** : Micrographie de coupes histologiques au niveau du testicule de *Meriones libycus* témoins (A) et (A') et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (B) et (B') observés au grossissement Gx100 et Gx400 colorées à l'hématoxyline-éosine

## Liste des tableaux et figures

montrant les différentes structures histologiques avant et après hyperthermie scrotale .....	41
---	----

Compte tenu de la prévalence de l'infertilité masculine, on s'intéresse de plus en plus aux effets des expositions environnementales sur le potentiel de reproduction. Il est bien connu que la persistance d'un animal dépend de son pouvoir d'adaptation aux conditions de son milieu et le maintien de son activité de reproduction (Mandonnet et *al.*, 2011). De nombreuses études suggèrent une diminution de la qualité du sperme au cours des dernières décennies dans différents pays du monde (Gabrielsen et Tanrikut, 2016). La baisse peut être liée à l'altération de la spermatogenèse par divers facteurs. Cette dernière comprend une série complexe d'étapes qui impliquent le développement des spermatogonies en spermatozoïdes (Kerr, 2006).

L'un des facteurs pouvant influencer les processus de développement des gamètes mâles est l'hyperthermie, entraînant la production de sperme de moindre qualité et affectant ainsi la fertilité (Hou et *al.*, 2015 ; Parrish, 2019). L'incapacité à maintenir la température testiculaire altère donc la spermatogenèse et conduit à un faible nombre de spermatozoïdes, à une mauvaise motilité et à une morphologie anormale dans l'éjaculat (Durairajanayagam et *al.*, 2015). Les facteurs qui contribuent à l'augmentation des températures scrotales vont du mode de vie, du travail, de l'environnement à la physiopathologie telle que la varicocèle et la cryptorchidie. Dont beaucoup sont difficile à évités. Les effets de l'exposition à la chaleur sur la fertilité des animaux mâles sont connus depuis longtemps. Ils varient largement d'un animal à l'autre et dépendent de la durée de l'acclimatation (Geoffroy-Siraudin et *al.*, 2012).

L'hyperthermie peut être causée par le réchauffement climatique entraînant une baisse dans la reproduction des espèces et donc une perte de la biodiversité (Carey, 2014). Deux crises écologiques majeures de ce siècle, qui menacent le fonctionnement des écosystèmes, qui dépendent de la présence de multiples espèces pour se maintenir (Kenny, 2017). Une meilleure connaissance des caractéristique de la reproduction de toute espèces animales apparaît très importante puisqu'elle conditionne la survie des espèces nécessaires pour préserver cette biodiversité qui est peut-être un des plus grands défis de notre époque (Wingfield et *al.*, 2016 ; Kumar et *al.*, 2021). Dans les biotopes désertiques les rongeurs sont les vertébrés les mieux représentés et les plus réponsus (Khaldoune et *al.*, 2018). S'ils sont utilisés comme indicateurs des

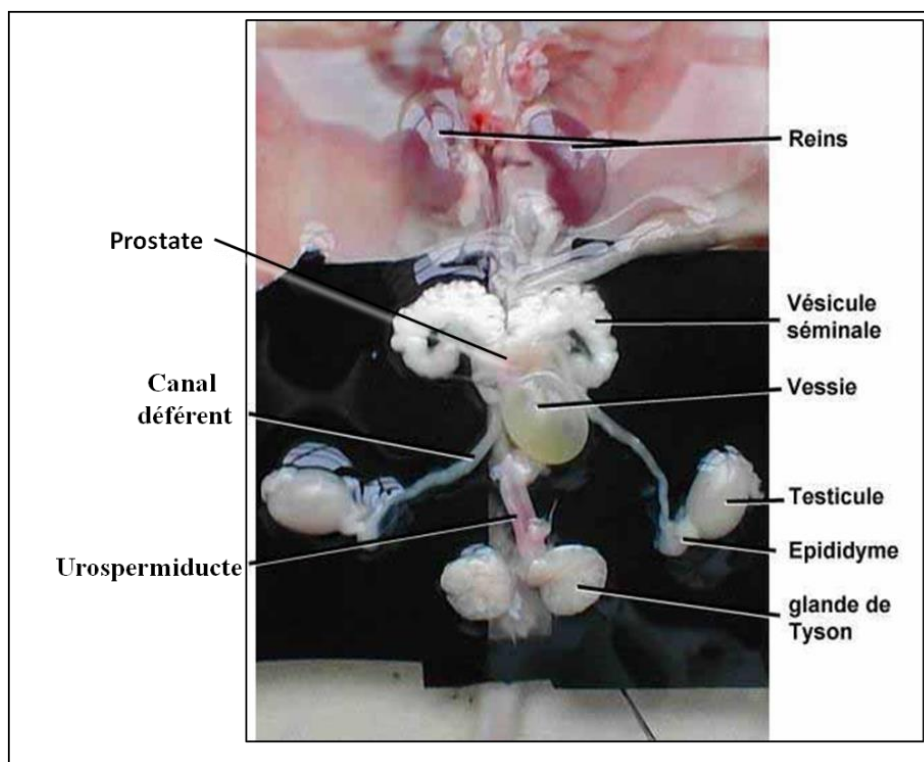
changements des milieux et du climat, c'est parce que ces petits vertébrés de par leur moindre capacité de dispersion, pourraient être des témoins de changements plus durables. Contrairement aux plantes et aux invertébrés qui réagissent de façon quasi immédiate à ces variations environnementales d'origine climatique par des modifications pouvant être temporaires (Pearson et Betancourt, 2002).

Dans ce contexte, notre étude se focalise sur la compréhension de l'impacte de l'hyperthermie scrotale sur la fonction de reproduction de *Meriones lybicus*, que ce soit l'histologie testiculaire, les paramètres spermatiques et biométriques de cette espèce et la répercutions de ces changements.

Pour mieux cerner notre mémoire, nous avons subdivisé notre travail en quatre chapitres ; Le première fait référence à une étude bibliographique sur le testicule ; le deuxième est consacré à l'étude expérimentale pour atteindre l'objectif de cette étude; Le troisième chapitre présentera les résultats obtenus ; qui seront discutés à la lumière de la bibliographie existante dans le quatrième chapitre et enfin une conclusion générale avec qu'un ensemble de perspectives.

### 1. Généralité sur l'appareil reproducteur mâle

L'appareil reproducteur mâle désigne l'ensemble des organes et structures impliqués dans la production des gamètes mâles ou spermatozoïdes, leur transport, leur nutrition, leur stockage dans le tractus génital masculin et leur expulsion dans le tractus génital féminin lors de la copulation (Soufir, 2010). Chez les mammifères il est situé sur la face antérieure du bassin, comprend à la fois les organes sexuels externes (pénis et scrotum) et internes (testicules, canal déférent, épидидymes, conduit éjaculateur et urètre, prostate vésicules séminales, glandes de Cowper et préputiales chez les rongeurs) (Figure 01) (Setchell et Breed, 2006).



**Figure 1 :** Appareil reproducteur mâle de la souris adulte (Julien de VivelesSVT.com, 2011)

- Le testicule ou gonade mâle se trouve sous la verge à l'extérieur de la cavité abdominale et à l'intérieure du scrotum. Il assure la formation des spermatozoïdes et la sécrétion des androgènes (Testostérone) (Wémeau, 2014).
- l'épididyme fait suite au testicule sur son pôle supérieur et il comporte trois parties identifiables : la tête (caput), le corps (corpus) et la queue (cauda) (Hermo et

## Rappels bibliographiques sur le testicule

Robaire, 2002). Il joue un rôle important dans la maturation et le stockage des spermatozoïdes (Hossain et Saunders, 2001 ; Pietrement, 2006 ; Cornwall, 2009 ) avec réabsorption du fluide testiculaire (Marengo, 2008 ; Cornwall, 2009) ; il Participe ainsi à la formation du plasma séminal (Shum *et al.*, 2009).

-Le canal déférent, fait suite à la queue de l'épididyme et s'étend jusqu'à l'urètre. Ce canal joue un rôle de réservoir pour les spermatozoïdes mais également un rôle primordial au moment de l'éjaculation (Drion *et al.*, 1993).

-Le conduit éjaculateur est très bref, il résulte de l'union entre le conduit déférent et celui de la vésicule séminale. Il débouche dans la partie initiale de l'urètre et son rôle est uniquement vecteur (Barone, 1978).

-La fonction première des glandes annexes principales (prostate et vésicules séminales) est de produire le liquide séminal accompagnant les spermatozoïdes lors de l'éjaculation. Le produit de l'éjaculation est alors appelé sperme, il est constitué de deux fractions : Une fraction cellulaire constituée par les spermatozoïdes produits par les testicules (environ 2 à 5% du volume total de l'éjaculat), une fraction liquide appelée plasma séminale, faite de sécrétions testiculaires et des sécrétions des glandes annexes. Les glandes de Mary-Cowper, sécrètent un liquide mucoïde, semblable au liquide prostatique dans le but de lubrifier et de neutraliser les traces des urines présentes dans le tractus urogénital (Chughtai *et al.*, 2005). Pour les glandes préputiales joueraient un rôle dans la régulation des comportements reproducteurs en particulier chez les rongeurs (Zhang *et al.*, 2007).

## 2. Testicules

### 2.1. Organisation anatomique

Les testicules sont de forme ovoïde, ces organes appariés sont suspendus au cordon spermatique, situé à l'extérieur de la cavité abdominale de part et d'autre du pénis à l'intérieur des bourses et recouverte par le scrotum pour maintenir la température de 2-3° C en dessous de la température corporelle pour la spermatogenèse (Kim *et al.*, 2013). Les testicules sont recouverts par six enveloppes qui assurent leur protection et

## Rappels bibliographiques sur le testicule

leur soutien (Figure 02) : peau du scrotum, dartos, tunique celluleuse, crémaster, tunique fibreuse et la séreuse vaginale.

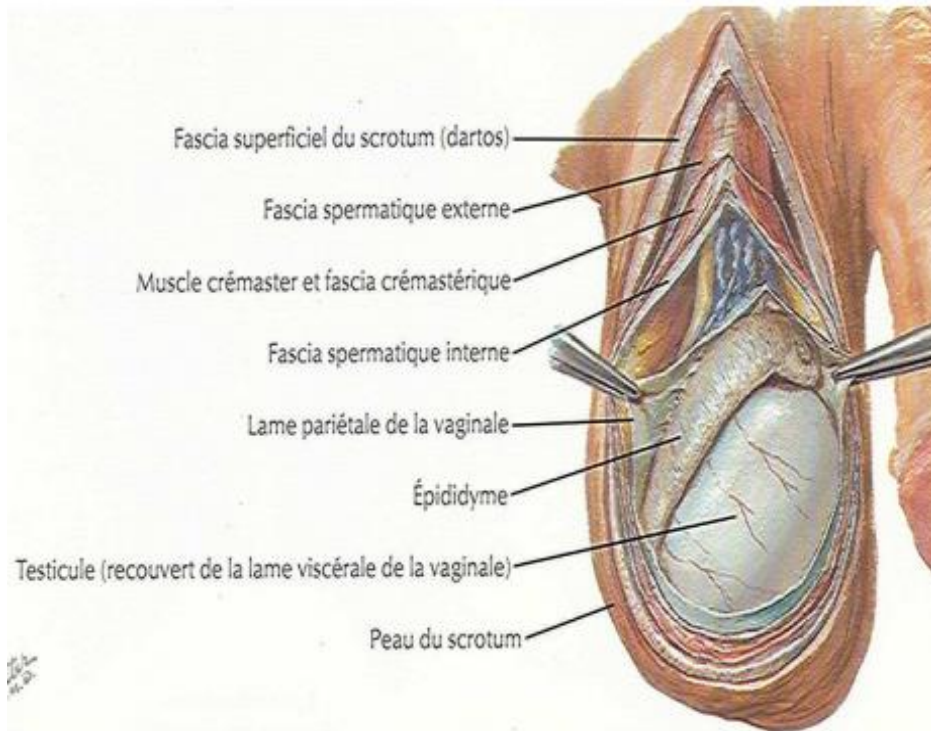
-Un premier plan superficiel qui correspond au scrotum qui est lui-même formé par une l'enveloppe cutanée mince, unique commune aux deux testicules et elle est recouverte de poils grossiers et riches en glandes sébacées. L'enveloppe cutanée est adhérente au dartos qui constitue le dispositif de suspension des bourses (Drion *et al.*, 1993) ;

-Un plan intermédiaire constitué de la tunique celluleuse ou fascia spermatique externe qui permet une grande mobilité au testicule et le protégeant contre les compressions et les chocs (Roger, 2009) ;

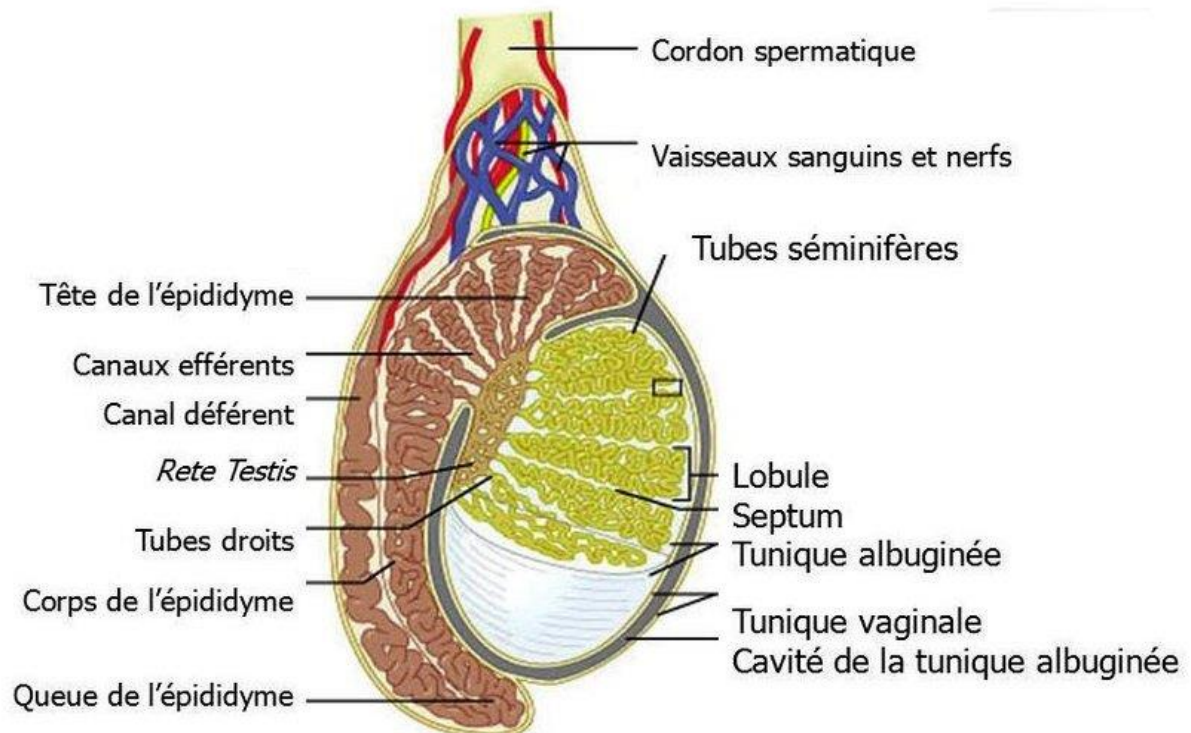
-Enfin, un plan profond formé par un muscle à contraction volontaire rapide très développé qui est nommé le crémaster, suivi de la tunique fibreuse ou fascia spermatique interne qui forme un sac où logent le testicule et l'épididyme, puis la séreuse vaginale (expansion de péritoine) qui comprend un feuillet pariétal qui tapisse la face interne de la fibreuse et un feuillet viscéral qui recouvre le testicule et le cordon testiculaire (Barone, 2001).

Cet organe est irrigué par la grande circulation vasculaire issue de l'artère testiculaire et de ses rameaux courant dans l'albuginée, puis dans l'espace interstitiel qui délimite des lobules contenant les tubes séminifères en forme d'anses fermées étroitement et enroulées dont leurs extrémités droites s'ouvrent et s'anastomosent formant les rête testis ou le Réseau de Haller qui est un regroupement particulier de tubes situé dans le corps d'Highmore. Ce dernier est lié à la partie proximale de l'épididyme par 10 à 12 canaux ou cônes efférents (Figure 03) (Demoulin, 1991).

## Rappels bibliographiques sur le testicule



**Figure 02** : Représentation schématique des enveloppes testiculaires (Scrotum : structuur, functies, ziekten, s. d.).



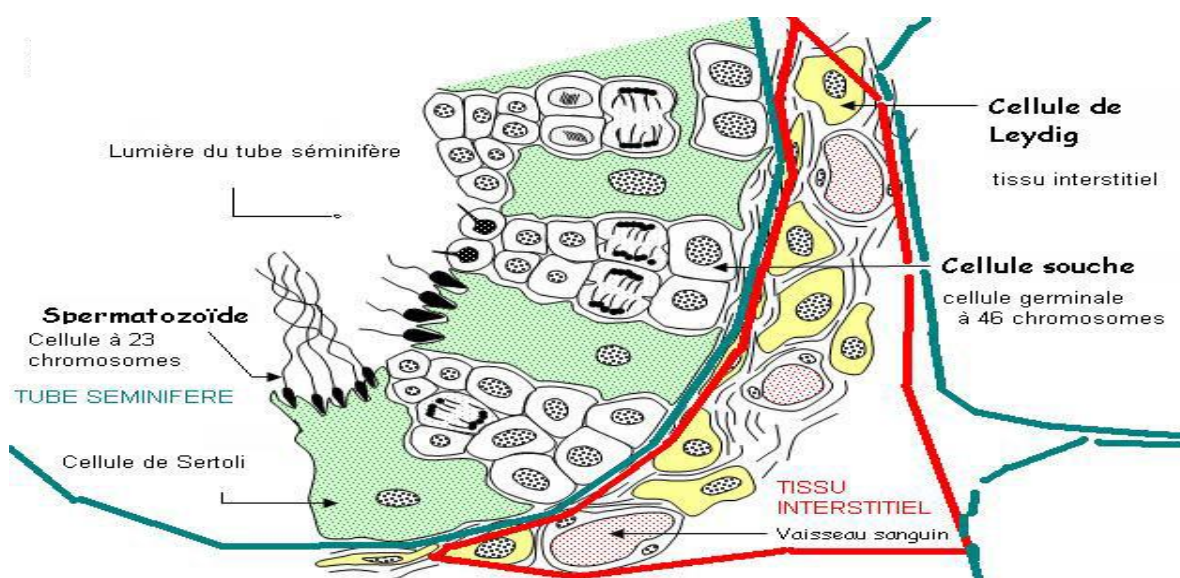
**Figure 03** : coupe transversale schématique d'un testicule d'une souris mâle adulte (PHYSIOLOGY REPRODUCTION, s. d.)

### 2.2. Histologie fonctionnelle du testicule

Le testicule est revêtu par l'albuginée, qui est une capsule blanche, épaisse résistante et parcourue par les vaisseaux testiculaires. C'est une enveloppe conjonctive, riche en fibres de collagène et en cellules musculaires lisses dans la région postérieure (Siffroi, 2001 ; Junqueira et Carneiro, 2007). Elle émet Environ 250 travées fibreuses radiaires de façon centripète (septa testis) dans le tissu interstitiel. Ces derniers délimitent 200 à 300 lobules testiculaires plus ou moins triangulaires. Chaque lobule est constitué de deux à trois tubes séminifères séparés par le tissu interstitiel (Vacheret, 1999).

#### 2.2.A. Tube séminifère

Les tubes séminifères sont limités en périphérie par la gaine peritubulaire fibreuse entourée d'une couche concentrique de myofibrocytes, reliées entre elles par des jonctions reposant sur la lame basale (Dadoune et Demoulin, 2001). Ces tubes sont le siège de la spermatogénèse et contiennent des cellules germinales à différents stades de leur développement ainsi que des cellules somatiques, les cellules de Sertoli (Figure 04) (Jeays-Ward et *al.*, 2003). Cette association de cellules germinales et de cellules de Sertoli forme l'épithélium séminifère. Les cellules les moins différenciées sont situées du côté basal du tube séminifère (vers la lame basale) et les spermatozoïdes sont situés vers la lumière du tube (Dadoune et Demoulin, 2001)



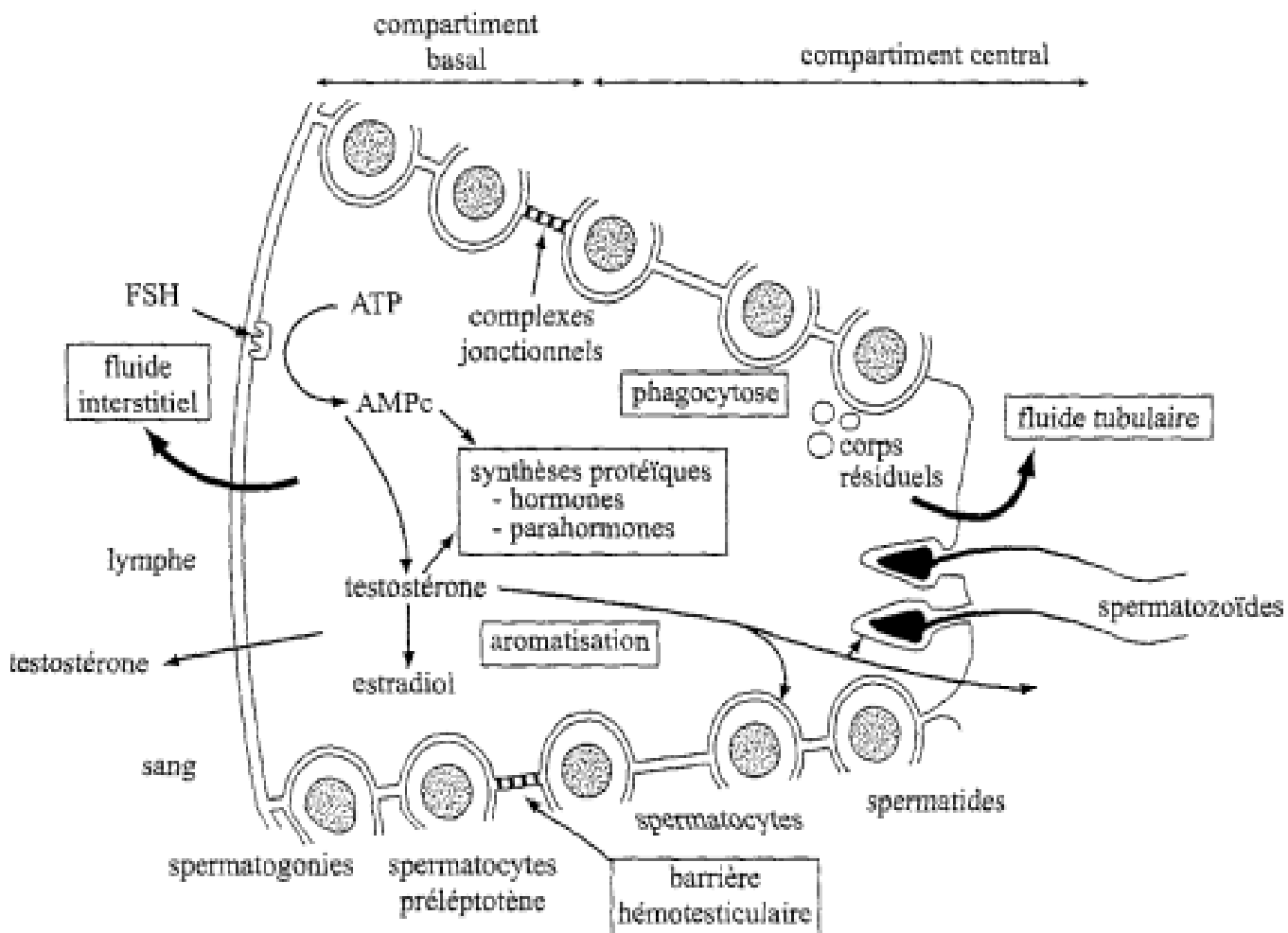
**Figure 04** : schéma de la structure histologique d'une partie d'un tube séminifère chez l'Homme (E-Pédagogie, s. d.)

### 2.2.A.a. Cellules de Sertoli

Ce sont des cellules somatiques à fonction identique et aux structures semblables à celles de tous les vertébrés (Thibault et Levasseur, 2001). Elles ont une forme pyramidale allongée de grande taille dotée d'une grande plasticité. Avec un noyau ovalaire ou allongé leurs limites cellulaires sont peu visibles avec divers inclusions caractéristiques, elles reposent sur la membrane basale qui s'étendent sur la hauteur du tube séminifère et s'unissent entre elles par des jonctions serrées et avec les cellules germinales par des jonctions d'ancrages (Dadoune et Demoulin, 2001) c'est Un véritable "chef d'orchestre" de la spermatogenèse en contact avec tous les stades des cellules de la lignée germinale (Dimitriadis et *al.*, 2015) elles ne se divisent plus chez l'adulte et possèdent des récepteurs spécifiques pour la FSH et la testostérone (Gromoll et Simoni, 2005).

#### ► Rôles des cellules de Sertoli

Selon Dadoune et Demoulin (2001), les cellules de Sertoli sont indispensables au bon déroulement de la spermatogenèse (Figure 05) puisque elles relient les cellules de la lignée germinale tout en les protégeant des réactions immunologiques ; elles assurent les échanges métaboliques avec le sang et la nutrition de l'épithélium séminal ; elles produisent aussi plusieurs protéines d'importances variables, entre autres l'ABP (Androgen-Binding-Protein) et l'inhibine ; elles sont le lieu de métabolisme de la testostérone en androstènedione, dihydrotestostérone et l'aromatisation de la testostérone en  $17\beta$  œstradiol et enfin, elles interviennent dans la libération des spermatozoïdes dans la lumière du tube séminifère(Spermiation) par la Phagocytose des corps résiduels et des cellules germinales dégénérées.



**Figure 05** : Schéma représentatif des différentes fonctions des cellules de Sertoli (Dadoune et Demoulin, 2001).

### 2.2.A.b. Cellules de la lignée germinale

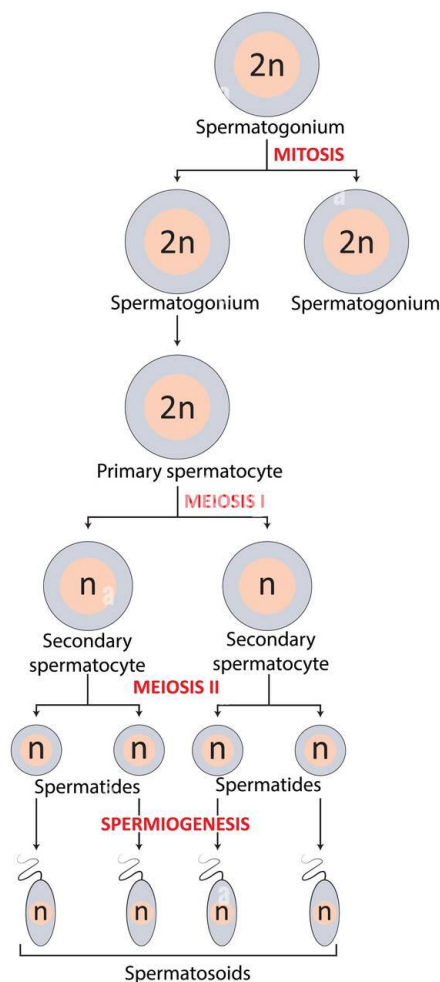
Les cellules de la lignée germinale sont disposées au sein de l'épithélium séminifère sur plusieurs assises et subissent des divisions, des remaniements pour se transformer en spermatozoïdes. De la périphérie vers la lumière se trouve les spermatogonies, les spermatocytes, les spermatides et les spermatozoïdes (Kerr, 2006). Ces cellules évoluent en trois phases au cours de la spermatogenèse : une phase de multiplication ou prolifération ; une phase de division méiotique et une phase de différenciation (Figure 06) (Bronson, 2010).

### ► Spermatogenèse

Les spermatogonies sont situées près de la membrane basale, elles ont un noyau arrondi, foncé à chromatine finement dispersée, et désignées par Ad (Dark, type A). Par mitose, elles donnent une spermatogonie Ad et une spermatogonie Ap (pâle, type A) appelée aussi « poussiéreuse » ayant une chromatine plus claire toujours finement dispersée. La division de celle-ci aboutit aux spermatogonies B ou « croûtelles ». Ces dernières se divisent une à trois fois pour donner des « spermatocytes du premier ordre ou spermatocytes I » qui sont des cellules arrondies volumineuses à noyau souvent en méiose (George, 1996). Les divisions successives réductionnelle et équationnelle de la méiose donnent naissance aux «spermatocytes II» ; qui sont des cellules haploïdes, rondes, plus petites et moins nombreuses sur les coupes, car elles se transforment rapidement en spermatides (Siffroi, 2001). Les spermatides sont des cellules de petite taille, très nombreux, ovoïde à noyau rond et clair. L'étape de transformation des spermatides en spermatozoïdes correspond à la spermiogenèse (Siffroi, 2001).

De la puberté à la mort, la spermatogenèse représente le processus complexe et continu de mitoses des cellules germinales immatures ( $2n$ ) assurant ainsi une production continue de spermatozoïdes (Johnson et Everitt, 2002). La durée de la spermatogenèse varie selon les espèces, prenant respectivement 35, 49 et 74 jours chez la souris, le rat et l'homme. Sous le haut contrôle des cellules Leydig et des cellules de Sertoli (Oatley et Brinster, 2008).

## Rappels bibliographiques sur le testicule



**Figure 06** : Phases de la spermatogenèse et types de cellules germinales concernés (Limited, s. d.).

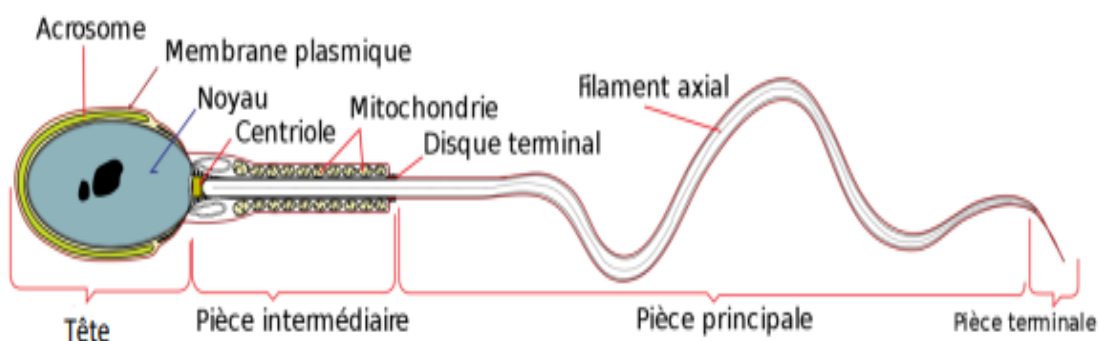
Le spermatozoïde est une cellule hautement spécialisée qui assure la transmission du génome haploïde mâle à l'œuf de la femelle (Thibault et Levasseur, 2001). C'est une petite cellule allongée, très mobile et de longueur variable selon les espèces (Altman, 1962). Elle se constitue d'une tête et d'un flagelle réunis par un col très bref. La tête est constituée essentiellement du noyau à chromatine dense dont les deux tiers antérieurs sont recouverts par l'acrosome qui est pourvu d'enzymes utilisés pour la pénétration de la membrane de l'ovocyte lors de la fécondation (Thibault et Levasseur, 2001). Le col représente une courte partie cytoplasmique et c'est une pièce d'union entre la partie distale et la partie proximale. Le flagelle est le segment le plus long, il présente trois parties successives : la pièce intermédiaire, la pièce principale et la pièce terminale (Figure 07).

## Rappels bibliographiques sur le testicule

La pièce intermédiaire fait suite au col et se termine par un épaississement de la membrane cytoplasmique en partie caudale et elle contient les éléments fibrillaires et des mitochondries disposées en gaine spiralée (Barone, 1978) ;

La pièce principale est la partie la plus longue de la queue. A son niveau, la gaine mitochondriale est substituée par une gaine fibreuse périphérique et neuf faisceaux de fibres denses (Barone, 1978) ;

La pièce terminale ne contient que le filament axial avec une mince membrane remplaçant la gaine fibreuse (Barone, 2001). Le flagelle est l'élément moteur du spermatozoïde car les mitochondries assurent les phosphorylations oxydatives du fructose présent dans le liquide séminal fournissant l'énergie nécessaire aux mouvements de la queue, tandis que les structures de l'axonème ont des propriétés contractiles (Albert et Jean, 2001).



**Figure 07** : Schéma d'un spermatozoïde humain (Wikipedia contributors, 2022).

### 2.2.B. Barrière hémato-testiculaire ou barrière sang-testicule

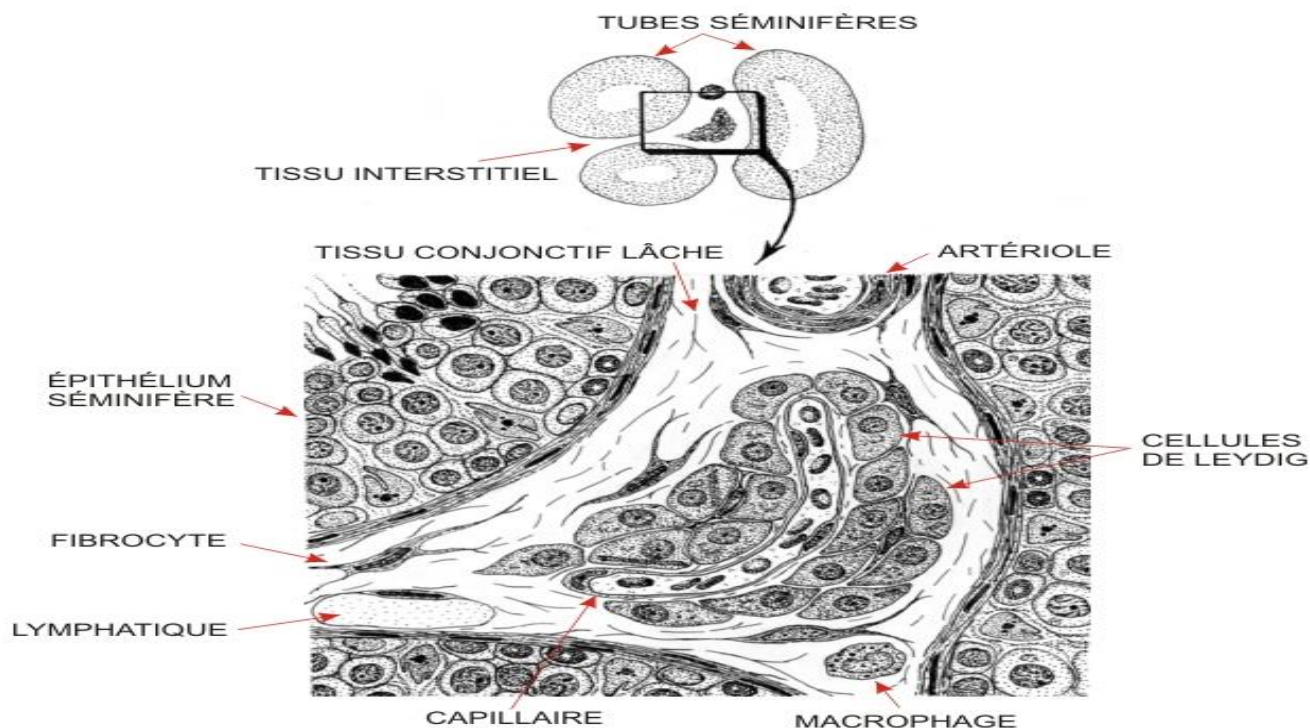
Selon (Lie et *al.*, 2010), la barrière hémato-testiculaire est formée de l'extérieur vers l'intérieur par l'endothélium du capillaire sanguin (permettant le passage de protéines plasmatiques et de grosses molécules), des cellules péri-tubulaires (dont les espaces assurent la diffusion des molécules de petite taille), La lame basale de la gaine péricubulaire et les jonctions serrées inter-Sertoliennes. Les cellules de Sertoli maintiennent intacte cette barrière en organisant correctement les jonctions serrées, qui divisent le compartiment basal et ad luminal au sein d'un seul tubule séminifère (Mruk et Cheng ; 2015).

## Rappels bibliographiques sur le testicule

La barrière hémato-testiculaire (BHT) assure la régulation du transport des hormones et détermine la composition du liquide tubulaire en étant perméable à l'eau, aux acides aminés, aux ions et aux sucre, elle empêche la reconnaissance des protéines de surface des cellules germinales par le système immunitaire, donc elle protège l'épithélium séminal contre réaction auto-immunes (Lie et *al.*,2010).

### 2.2.C. Tissu interstitiel

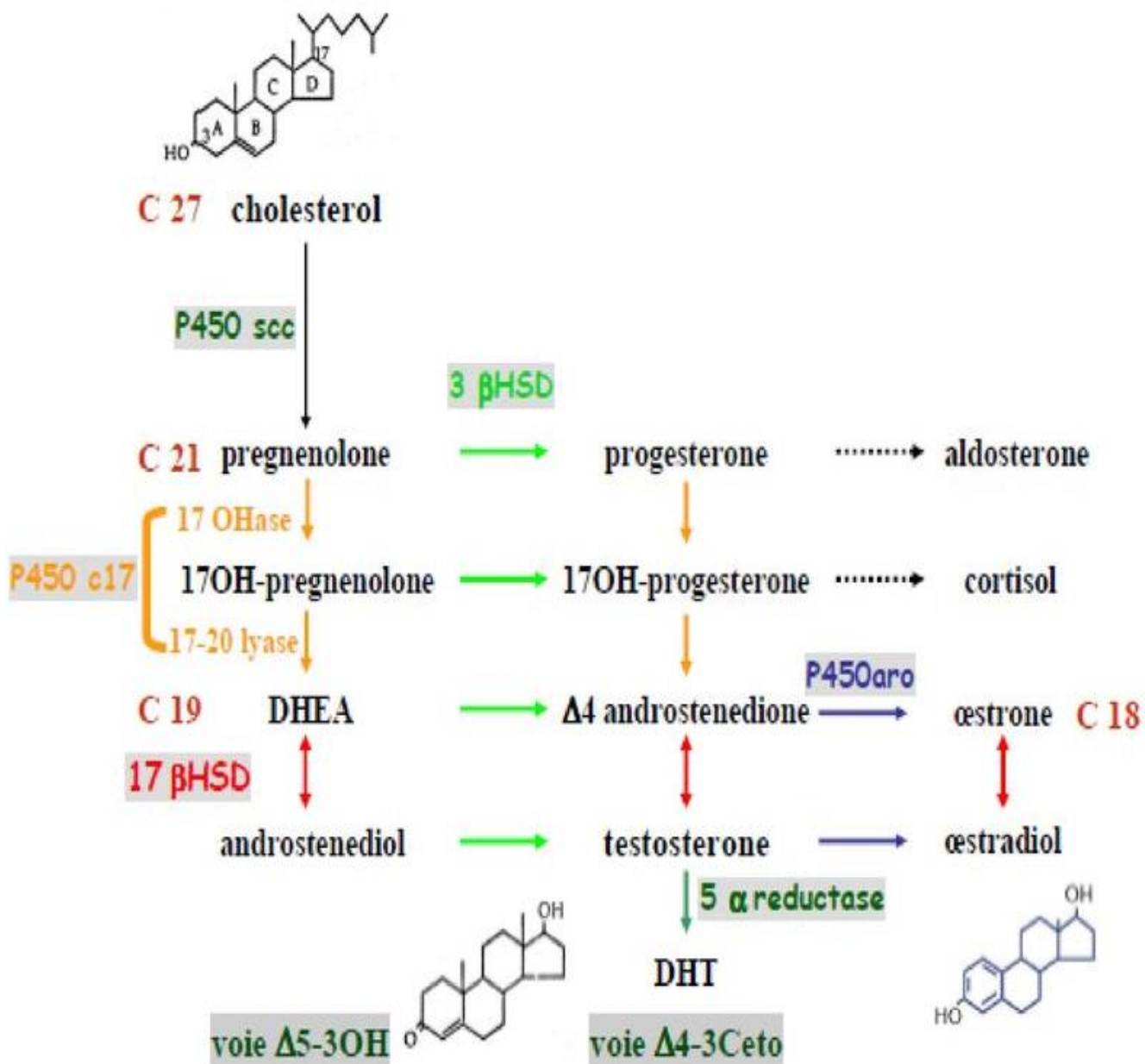
Il comprend tous les espaces situés entre les tubes séminifères. Il est constitué d'un tissu conjonctif (renfermant des fibroblastes, des lymphocytes, des macrophages, etc...) impliqué dans la régulation paracrine de la spermatogenèse (régulation intra-gonadique). Il renferme les vaisseaux sanguins et lymphatiques, les nerfs et le réseau de fibroblastes différenciés reliés à la gaine péricubulaire. Il contient également les cellules de Leydig qui assurent la synthèse des androgènes testiculaires. Ces structures polyédriques sont groupées en amas ou isolées et elles sont en contact avec les capillaires sanguins et lymphatiques (macrophages et lymphocytes)(Figure 08)(Wistuba et *al* ;2007).



**Figure 08** : Schéma montrant la disposition du tissu interstitiel testiculaire (Abraham et Kierszerbaum, 2006)

## Rappels bibliographiques sur le testicule

Les cellules de Leydig possèdent un cytoplasme dense, un noyau arrondi et diverses enclaves lipidiques, pigmentaires et protidiques (les cristoïdes de Reinke). Ces cellules sont actives au stade embryonnaire en synthétisant la testostérone qui favorise le maintien du canal de Wolff et la masculinisation du tractus génital. Vers le septième mois de grossesse, elles produisent également de l'Insuline-like factor 3 impliqué dans la descente testiculaire de la cavité abdominale au scrotum (Ivell et *al.*, 2014). A la puberté sous l'action de la LH (Luteinizing Hormone) sécrétée par l'adénohypophyse, les cellules de Leydig synthétisent de la testostérone et de la dihydrotestostérone (DHT) (Dadoune, 1988). Cette synthèse représente 95% de la production de la testostérone sanguine (Wistuba et *al.*, 2007) et se déroule en 5 étapes résumés dans la figure 09, dépendantes chacune d'une enzyme particulière, la voie A5 est la voie prédominante chez l'homme, alors que chez le rat c'est la voie A qui est empruntée (Hu et *al.*, 2010). La testostérone et l'androstènedione peuvent être métabolisées en  $17\beta$ -œstradiol (l'œstrogène le plus actif biologiquement) et en œstrone respectivement, sous l'action d'un cytochrome P450 aromatasé (P450arom) et en dihydrotestostérone (DHT: l'androgène le plus actif biologiquement) par la 5  $\alpha$ -réductase, enzyme membranaire microsomale (Stocco et Mcphaul, 2006).



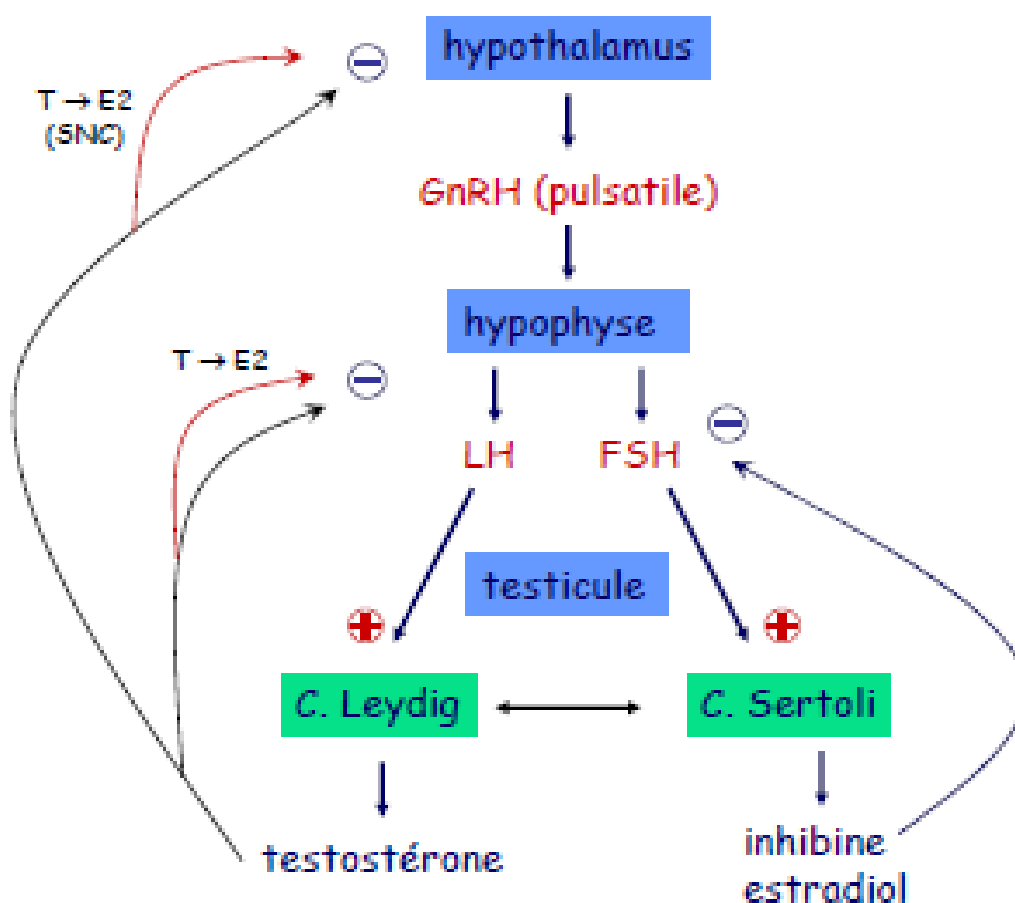
**Figure 09 :** Biosynthèse des hormones stéroïdes au niveau des cellules de Leydig (Friry Santini, 2007).

### 2.3. Régulation de la fonction testiculaire

Les cellules gonadotropes hypophysaires répondent aux stimulations pulsatiles de la GnRH hypothalamique par la synthèse et la sécrétion des gonadotrophines hypophysaires : l'hormone lutéinisante (LH) et l'hormone folliculo-stimulante (FSH). Ces deux dernières agissent au niveau testiculaire pour la régulation de sa fonction endocrine et exocrine (Figure 10)(Thibault et Levasseur, 2001).

## Rappels bibliographiques sur le testicule

La LH stimule les cellules de Leydig pour produire de la testostérone, essentielle à la spermatogenèse (Widmaier *et al.*, 2009) et le développement des organes génitaux masculins et les caractères sexuels secondaire (Nguyen et Bourouina, 2008). La FSH influence la spermatogenèse via stimulation directe des cellules de Sertoli dans les tubules séminifères et également en stimulant la synthèse d'inhibine B. Ces hormones sécrétées par les testicules régulent à leur tour les sécrétions hypothalamiques et hypophysaires. Ainsi, une boucle de rétroaction existe dans la régulation globale de cet axe hypothalamo-hypophysaire-testiculaire (Dohle *et al.*, 2003).



**Figure 10** : régulation de la fonction testiculaire (Christiansen *et al.*, 2002).

### 3. Anomalies spermatiques

Il a été constaté depuis longtemps que la qualité et la quantité de la semence produite par les mâles varie d'une espèce à une autre (Lebas, 2004). Les principaux paramètres d'analyses du sperme sont (Salamon, 1976):

## Rappels bibliographiques sur le testicule

- Le volume du sperme ;
- La concentration en spermatozoïdes ;
- La vitalité ;
- La morphologie des spermatozoïdes ;
- La mobilité (massale et individuelle) (Tableau I).

**Tableau I:** Description de la motilité massale des spermatozoïdes (Salamon, 1976)

Note	Motilité massale	Description
5	Très bonne	vagues et tourbillons, mouvements très rapides ; les spermatozoïdes ne peuvent pas être visionner individuellement.
4	Bonne	mouvements rigoureux, vagues et tourbillons ne sont pas aussi évidents qu'en score 5.
3	Faible	il n'y a pas ou il y a peu de vagues lentes ; les spermatozoïdes peuvent être individualisés. 45-65% des spermatozoïdes sont actifs.
2	Assez faible	20 à 40% des spermatozoïdes sont actifs ou vivants, leur motilité est très faible. Absence de vagues.
1	Très faible	très peu de spermatozoïdes montrent des signes de vie sans mouvements progressifs.
0	Absence	tous les spermatozoïdes sont morts.

Ainsi les anomalies spermatiques peuvent être en relation avec le volume spermatique, la mobilité et la morphologie des spermatozoïdes (OMS, 2010).

### 3.1. Anomalies en relation avec le volume spermatique

-**Aspermie**: elle se traduit par l'absence d'éjaculat ou un volume de sperme inférieur au seuil de l'espèce (Comhaire et Vermaulen, 1995).

-**Hypospermie** : le volume total de l'éjaculat est inférieur à un certain volume suivant les normes de l'espèce. Elle peut être due soit à un problème technique de recueil du sperme soit un déficit de sécrétion au niveau des glandes annexes (prostate et vésicules séminales) (OMS, 2010).

- **Hyperspermie** : le volume total de l'éjaculat est supérieur à la norme. Elle évoque la présence de lésions infectieuses des glandes annexes ou à une abstinence trop longue (Ounis, 2014).

### 3.2. Anomalies du nombre de spermatozoïdes

-**Azoospermie** : se définit comme l'absence de spermatozoïdes dans un éjaculat lors de la réalisation d'au moins trois spermogrammes pratiqués dans des conditions optimales et à 3 mois d'intervalle (Hammamah et *al.*, 1999). Il existe deux types d'azoospermie :

-L'azoospermie est dite sécrétoire s'il y'a une absence totale de la spermatogenèse (Robin et *al.*, 2010).

-L'azoospermie est dite excrétoire si la spermatogenèse est conservée mais les spermatozoïdes ne sont pas excrétés dans le sperme en raison de la présence d'un obstacle au niveau des voies excrétoires (épididyme, canaux déférents et canaux éjaculateurs), les lésions peuvent être congénitale ou acquises (Robin et *al.*, 2010).

-**Oligospermie** : elle se définit par une diminution du nombre de spermatozoïdes dans l'éjaculat de façon anormale par rapport à la norme de l'espèce étudiée (OMS, 2010).

### 3.3. Anomalies de la qualité du sperme

-**Asthénospermie** : elle se définit par moins de 40% des spermatozoïdes mobiles une heure après l'éjaculation (OMS, 2010).

-**Nécrozoospermie** : elle se caractérise par la présence d'un très grand nombre de spermatozoïdes morts (42%) dans le sperme et il faut rechercher un problème infectieux ou oxydatif (lévy et *al.*, 2015).

-**Leucospermie**: elle se définit par une numération des leucocytes supérieure à 1million /ml de sperme, elle évoque une infection, un processus inflammatoire (lithiase prostatique) ou bien une abstinence trop longue (OMS, 2010).

-**Tératospermie** : qui se caractérise par un taux de spermatozoïdes morphologiquement normaux est inférieur à 15%(Auger et Eustane, 2000). La figure

## Rappels bibliographiques sur le testicule

11 illustre les anomalies spermatiques d'après la classification de David. Elles peuvent être localisées à différents niveaux des spermatozoïdes :

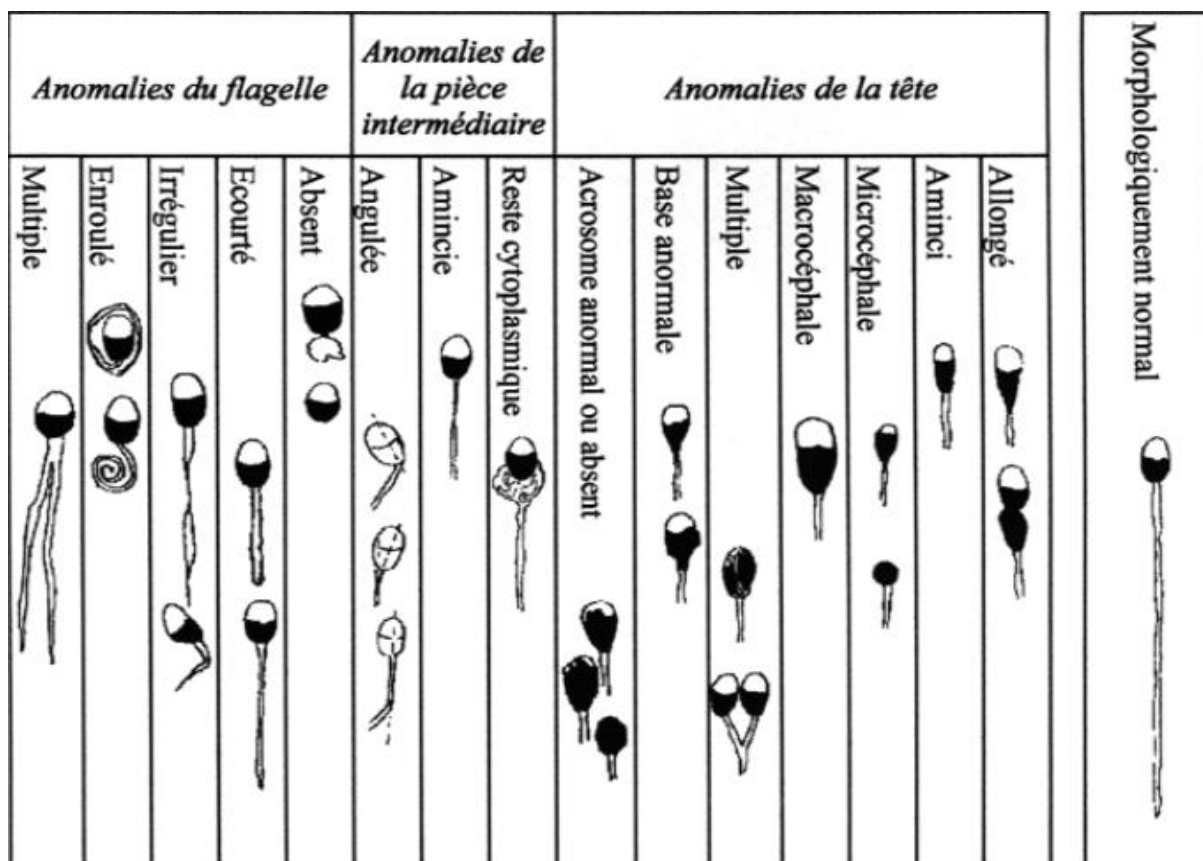
1 -Anomalies au niveau de la tête (malposition, tête piriforme ou ronde, allongée ou étroite, microcéphalique ou macrocéphalique, tête double, acrosome anormal ou décapité).

2-Anomalies au niveau de la pièce intermédiaire (coudée, double ou inexistante)

3-Anomalies au niveau du flagelle (enroulé, double, court ou inexistant)

4-Présence d'autres cellules dans le sperme (cristaux de spermine, cellules épithéliales, leucocytes et érythrocytes).

Il est aussi possible d'avoir une oligo-asthéo-tératozoospermie (OATS) qui est l'association de trois pathologies spermatiques (oligospermie, asthénospermie et tératospermie). Les spermatozoïdes sont peu nombreux, peu mobiles, et beaucoup d'entre eux sont malformés. Mais cela ne veut pas dire qu'aucun spermatozoïde n'est viable (OMS, 2010).



**Figure 11** : Anomalies spermatiques d'après la classification de David.

### 4. Effets de l'environnement sur la fonction de reproduction

D'après Theau-clément, (2003) ; Bendayan et *al.*, (2018) les performances de reproduction varient en fonction d'une multitude de facteurs extrinsèques tels que la photopériode, la qualité de l'alimentation et la température.

#### 4.1. Photopériode

Chez plusieurs espèces animales, des changements périodiques sont engagées de fonctions physiologiques et comportementales afin d'anticiper les variations saisonnières de l'environnement et d'optimiser le succès de la reproduction et la survie des nouveau nés. Plusieurs exemples de cycles annuels ont ainsi été étudiés chez les mammifères, tels que les cycles saisonniers de la reproduction qui sont principalement contrôlés par les variations annuelles de la durée du jour ou photopériode (Boissin et *al.*, 1981).

La plupart des animaux s'accouplent à un moment précis de l'année. Les animaux avec une période de gestation courte, dont les rongeurs s'accouplent au printemps et en été, tandis que les animaux qui ont une période de gestation longue s'accouplent en automne pour donner naissance aux petits au printemps et en été (Shinomiya et *al.*, 2014).

Chez les Rongeurs, l'activité sexuelle présente un caractère saisonnier se manifestant par la succession annuelle de phases d'activité et de repos sexuels. Chez le hamster Doré (*Mesocricetus auratus*), sibérien (*Phodopus sungorus*), d'Europe (*Cricetus cricetus*) et le mérione de libye (*Meriones libycus*), tout changement de la photopériode induit un changement de la physiologie des gonades (repos ou activité) (Edmonds et *al.*, 2003). Il a aussi été démontré que le changement de la photopériode pouvait avoir un impact sur la spermatogénèse et la qualité du sperme chez le lapin (Lebas et *al.*, 1990).

### 4.2. Alimentation

Le niveau et la qualité alimentaire représentent chez l'animal un facteur important de la fertilité, encore qu'il soit difficile d'établir le lien entre l'influence du taux de nutrition et la qualité des nutriments sur la croissance somatique et le développement sexuel, un équilibre nutritionnel adapté aux besoins de la croissance et des diverses productivités doit être adopté pour éviter les infertilités (Soltner, 1989). Chez certains rongeurs, comme le rat, une restriction alimentaire importante entraîne une diminution de testostérone et de LH, une diminution du poids des testicules et une dégénérescence des spermatozoïdes (Rehm *et al.*, 2008). Chez les humains, une restriction calorique de 30 % sans malnutrition sont associés à une diminution significative des niveaux de testostérone par rapport aux témoins suivant un régime occidental, cependant, aucun effet sur la spermatogenèse n'a été signalé (Cangemi *et al.*, 2010). D'autre part, l'obésité chez l'homme est également associée à une diminution du taux de testostérone, du nombre de spermatozoïdes et à l'inverse une amélioration significative de ces deux paramètres a été observée lors d'une perte de poids induite par un régime alimentaire et les exercices physiques (Hakonsen *et al.*, 2019). De même chez les lapins, l'alimentation est un facteur important car les caractéristiques de la semence et la libido sont affectés lorsque le niveau des apports nutritionnels est insuffisant. Des études ont montré qu'un régime alimentaire limité en glucide, protéines et lipides réduit la libido et quelques traits séminaux (volume spermatique et concentration des spermatozoïdes /1ml de semence) chez le lapin mâle (Luzi *et al.*, 1996).

### 4.3. Température

La température est considérée comme le déterminant environnemental le plus important parmi toutes les variables bioclimatiques. L'augmentation de la température engendrer un stress thermique qui influence négativement la reproduction chez différentes espèces animales (Das *et al.*, 2016 ; Habeebet *al.*, 2018). La spermatogenèse est un processus dépendant de la température, il nécessite des températures de 2 à 4 °C inférieures à la température corporelle (Ivell, 2007).

## Rappels bibliographiques sur le testicule

Chez les mammifères, le stress thermique interne du corps affecte la majorité des fonctions reproductrices mâles, ainsi, une température scrotale élevée due à des facteurs thermogéniques, notamment des influences liées au mode de vie et au comportement (facteurs professionnels et environnementaux), constitue une cause importante de l'infertilité (Durairajanayagam et *al.*, 2015). Il existe des sources endogènes d'élévation de la température telles que l'obésité, la varicocèle, la fièvre, la cryptorchidie. Les hommes souffrant de varicocèle présentent des températures scrotales plus élevées et un nombre total de spermatozoïdes plus faible (Garolla et *al.*, 2015).

### 1. Matériel biologique et biotope

Dans les biotopes désertiques, les rongeurs sont les vertébrés les mieux représentés et les plus répons. Ces vertébrés sont très adaptés à leur écosystème par des mœurs comportementales tels que l'isolement dans des terriers où règnent des microclimats adéquats et rythme d'activité typique), ainsi que des adaptations d'ordre anatomique et physiologique (Amirat *et al.*, 2003).

Le modèle animal choisi pour cette étude est un rongeur saharien, le mérion de Libye (*Meriones libycus*).

#### 1.1 Description du modèle animal et systématique

Le Mérion de Libye (*Meriones libycus*) de la taille d'un rat. Il est caractérisé par l'allongement particulier de sa queue qui a sa base est rougeâtre et se termine par une sorte de pinceau de poils noirs et par ses ongles toujours pigmentés de gris ou de noir mais qui ne sont jamais blancs. Le pelage dorsal est fauve, parsemé de gris, les flancs sont parfois soulignés par une étroite ligne orange. La face ventrale et les pieds sont blancs. La tête porte une tache blanche post-auriculaire et des taches grises près des yeux et sous les oreilles. Ces dernières ne sont pas pigmentées mais sont recouvertes de poils chamois qui leur donnent un aspect pâle (Petter, 1961 ; Le Berre, 1990) (Figure 12). La seule caractéristique physique qui distingue le corps du mérion libyen de toute autre espèce de gerbille est que la tête est légèrement plus étroite (Mamkhair *et al.*, 2007).



**Figure 12** : Photo d'un mérion de Libye (*Meriones libycus*) (originale 2022).

La position systématique de ce modèle animal est la suivante (Granjon et Denys, 2006) :

**Phylum:**Chordata

**Subphylum:**Vertebrata

**Infraphylum:**Gnathostomata

**Superclasse:**Tetrapoda

**Classe:**Mammalia

**Subclasse:**Theria

**Infraclasse:**Eutheria

**Ordre:**Rotentia

**Subordre:** Myomorpha

**Famille:** Muridae

**Sousfamille:** Gerbillinae

**Genre:** Meriones

**Espèce:** *Meriones libycus*

*Meriones libycus* est un rongeur de mœurs nocturne mais peut être partiellement diurne, herbivore et granivore : graines, fruits et feuilles. Il vit seul ou en famille. La reproduction de cette espèce se déroule selon un cycle saisonnier marqué par une courte période de reproduction, située au printemps et début de l'été et une longue phase de repos, débutant à partir de l'été et se poursuivant jusqu'à la fin de l'hiver. La gestation dure 20 à 25 jours, avec 2 à 7 jeunes par portée (Le Berre, 1990 ; Daly, 1975).

### 1.2. Caractéristiques du biotope

*Meriones libycus* est originaire d'Afrique du Nord. Il possède une vaste aire de répartition, il habite tout le Sahara et atteint vers le nord les hautes plaines algériennes, notamment à Djelfa et Biskra (Granjon et Denys 2006). Il se retrouve aussi dans le désert de Syrie et en Mésopotamie et atteint la Chine par l'Asie centrale. En Iran, sa répartition couvre la plus grande partie du pays (Aulagnier, 1986), les animaux utilisés

dans ce travail proviennent de la région de Béni-Abbés qui se trouve au sud-ouest du Sahara algérien où le climat est désertique, chaud, caractérisé par des précipitations épisodiques, des températures extrêmes, une évaporation stimulée et un ensoleillement maximal. D'après les données du centre météorologique de Dar el Beida (2018) ; Janvier est le mois le plus froid (température moyenne minimale  $5,03 \pm 1,16^{\circ}\text{C}$ , température moyenne maximale  $17,23 \pm 1,79^{\circ}\text{C}$ ). Les mois les plus chauds sont juillet (température moyenne minimale de  $28,68 \pm 0,8^{\circ}\text{C}$  et moyenne maximale de  $42,02 \pm 1,07^{\circ}\text{C}$ ) et août (température moyenne minimale  $29,01 \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  et moyenne maximale  $41,88^{\circ}\text{C} \pm 0,51^{\circ}\text{C}$ ).

Le biotope de Béni-Abbés est caractérisé par la présence de dépressions circulaires ou allongées « Dayas et Graras » qui favorisent l'installation d'une végétation buissonnante donc fertiles, et sont essentiellement habitées par le *Meriones libycus* qui creuse son terrier à la base des buissons les plus importants. Le terrier étant un ensemble complexe de galeries possédant 2 à 8 orifices disposés régulièrement et sans orientation préférentielle. Les galeries les plus profondes sont creusées à 20cm de la surface mais les autres ne dépassent pas 10cm de profondeur. L'humidité relative de l'air confiné à l'intérieur du terrier est supérieure à celle de l'air libre jusqu'à 50% dans les galeries les plus profondes, la température à l'intérieur du terrier est en fonction de la distance à la surface du sol : l'amortissement de la variation diurne est faible, car le terrier de *Meriones libycus* est peu profond (Petter, 1961).

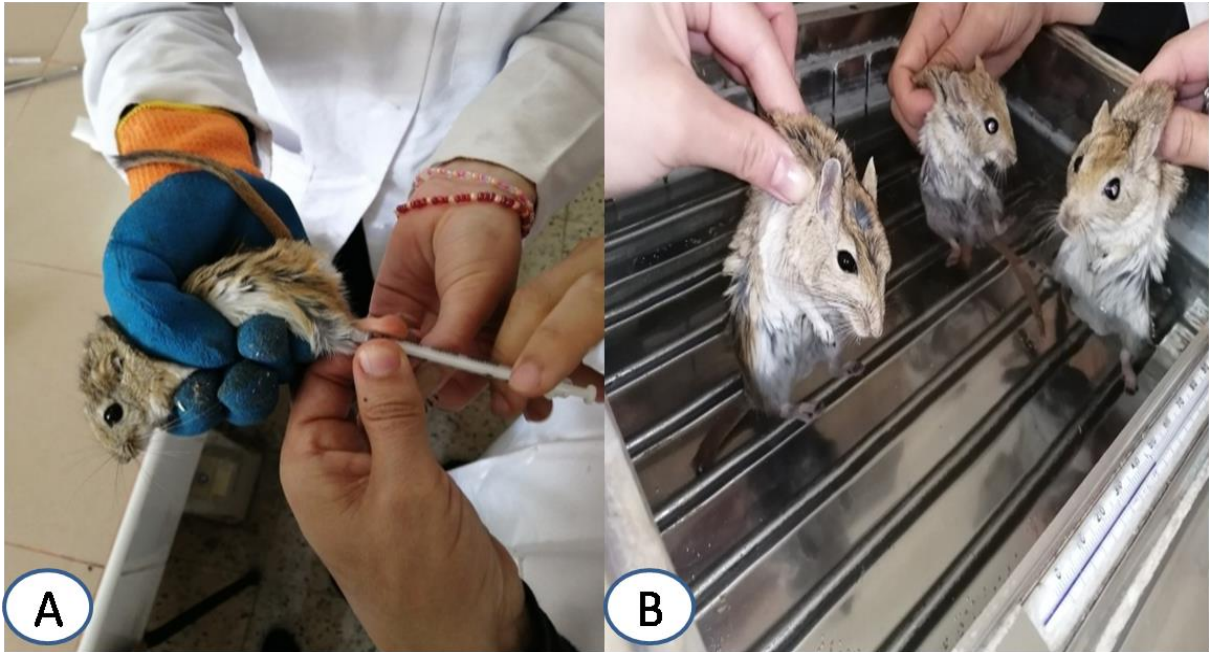
## 2. Expérimentation animale

### 2.1. Capture et constitution des lots

Les mérions utilisés pour cette expérimentation sont adultes et ont été capturés dans la willaya de Béni-Abbés durant la période de reproduction. Au laboratoire, les animaux ont été gardés dans des cages qui disposent d'un espace suffisant et viable (avec sciure propre et un abri), nourrit avec des graines d'orges, des dattes et de la luzerne. Ils ont été subdivisés en deux lots :

- Un lot de 5 animaux témoins maintenus dans de bonnes conditions sans changement de température et de nourriture ;

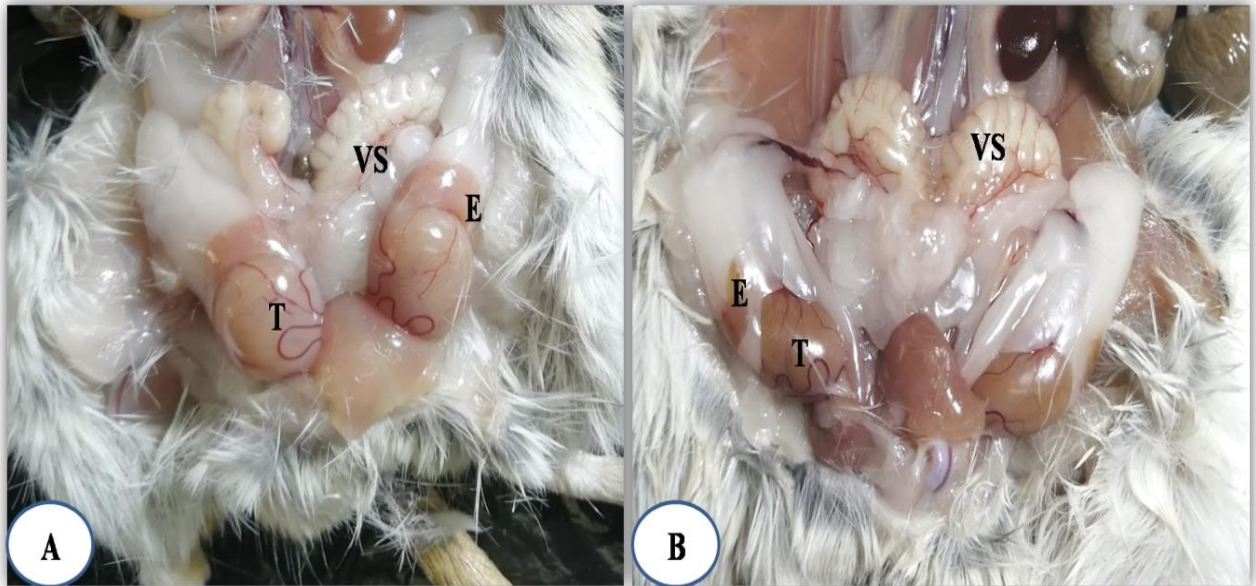
- Un lot de 4 animaux dont le scrotum sera plongé durant 30min dans un bain d'eau chaude à 43°C pendant 4 jours avec intervalle d'un jour. Cette expérimentation est effectuée après anesthésie générale des animaux à la Kétamine (100mg/Kg) (Figure 13).



**Figure13** : Anesthésie injectée en intramusculaire (A) et hyperthermie scrotale (B)des *Meriones libycus* adultes(photo originale 2022).

### 2.2. Sacrifice et prélèvement d'organes

15 jours après l'hyperthermie scrotale, tous les animaux ont été sacrifiés par décapitation entre 9h et 13h pour éviter l'influence du rythme nyctéméral. Juste après, l'animal est rapidement pesé puis disséqué (Figure 14). Tous les organes reproducteurs (Testicules, épидидymes, canal déférent, vésicules séminales et les lobes prostatiques) sont prélevés rapidement, dégraissés, pesés et fixés au formol à 10% en vue d'une étude histologique. À l'exception de l'épididyme distal droit utilisé pour l'analyse spermatique.



**Figure 14** : Appareil reproducteur du *Meriones libycus* mâle adulte chez le témoin (A) et après hyperthermie scrotale (B) (photo originale 2022).

### 3. Analyses des échantillons

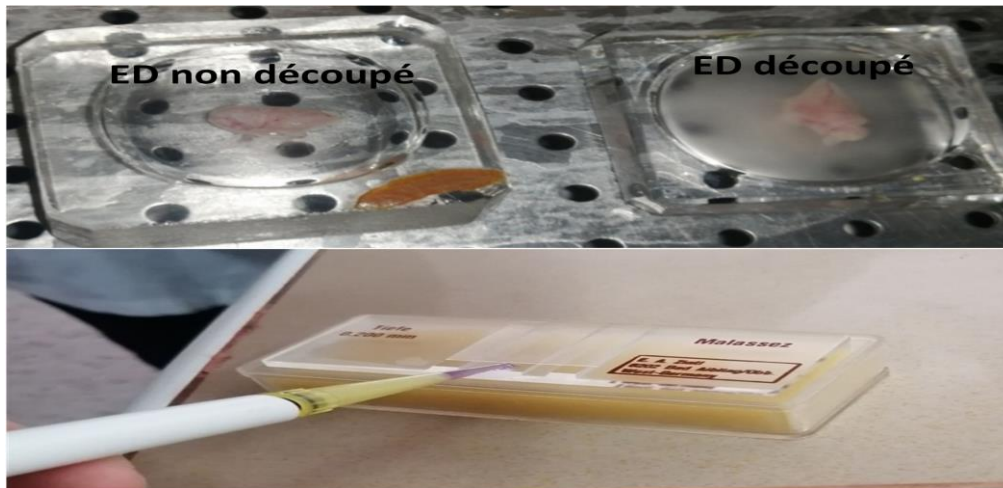
#### 3.1. Analyses spermatiques

La queue de l'épididyme est prélevée pesés puis mise dans la solution physiologique, découpée et enfin laissée durant 10min dans l'étuve à 37C° pour permettre la sortie des spermatozoïdes.

Entre lame et lamelle un échantillon est observé sous microscope optique au grossissement x400 pour l'étude de la mobilité, qui est déterminée par le nombre de spermatozoïdes mobiles sur 100 spermatozoïdes observés dans des champs différents et éloignés.

Un autre échantillon est coloré avec de l'éosine 1% pour l'analyse de la viabilité en lame et lamelle ou sous forme de frottis.

La numération des spermatozoïdes est déterminée par dilution de la semence puis comptage sous microscope photonique Gx400 grâce à 5 grands carreaux de la lame de Malassez. Puis la concentration des spermatozoïdes est déterminée par la formule tenant compte de la dilution et de la profondeur de la chambre de lecture (Figure 15).



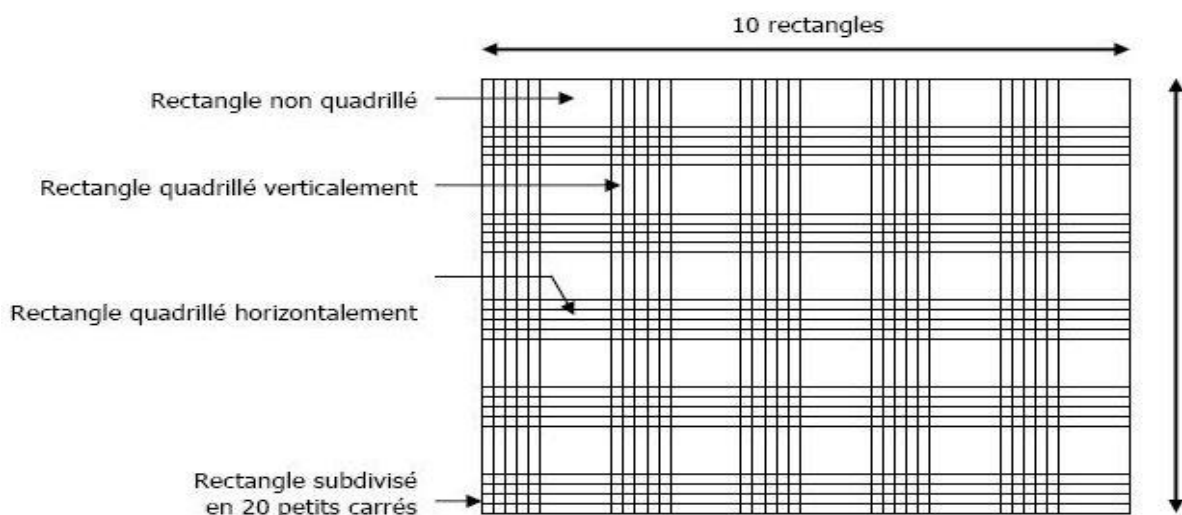
**Figure 15 :** analyse de la concentration des spermatozoïdes dans l'épididyme distal grâce à la lame de Malassez (photo originale 2022).

Cette lame est un hématimètre inventée par Louis-Charles Malassez qui permet de compter le nombre de cellules en suspension dans une solution, cette méthode de dénombrement nous permet de compter que les cellules (vivantes ou non) dans une solution, Il s'agit d'une lame de verre sur laquelle un quadrillage a été gravé de 100 rectangles (10x10) contenant eux-mêmes 20 petits carrés (Figure 16).

Formule à appliquer :

$$N = \frac{n}{a.v} \times Fd$$

Nombre de cellules par unité de volume (N)  
 Nombre de cellules comptées (n)  
 Facteur de dilution (Fd)  
 Nombre d'unités de comptage dénombrées (a.v)  
 Volume d'une unité de comptage (v)



**Figure 16 :** Loi et quadrillage de la lame de Malassez.

### 3.2. Analyse histologique

La confection des coupes histologiques permet l'observation des tissus testiculaire au microscope photonique après une coloration en suivant les étapes classiques d'histologie : fixation, déshydratation, éclaircissement, imprégnation, inclusion, confection des coupes et collage puis coloration et montage.

#### **-Fixation**

Etape primordiale, permet d'immobiliser et de conserver les structures cellulaires et tissulaires dans un état proche du vivant ; Les organes sont alors plongés dans un volume de fixateur qu'est le formol à 10% environ 60 fois supérieur à celui de l'organe. Chaque pièce est accompagnée d'une étiquette portant toutes les indications utiles (Figure 17).



**Figure 17** : Organes reproducteurs et prostates des mérions de Libye fixé (photo originale 2022)

#### **-Déshydratation**

Cette étape permet de faire sortir toute l'eau de l'organe pour le préparer à une inclusion dans un milieu hydrophobe et cela dans des bains d'alcools à concentration croissantes :

- Deux bains d'alcool 70° durant 4h ;
- Deux bains d'alcool 96° durant 12h ;
- Deux bains d'alcool 100° durant 4h.

### -Eclaircissement

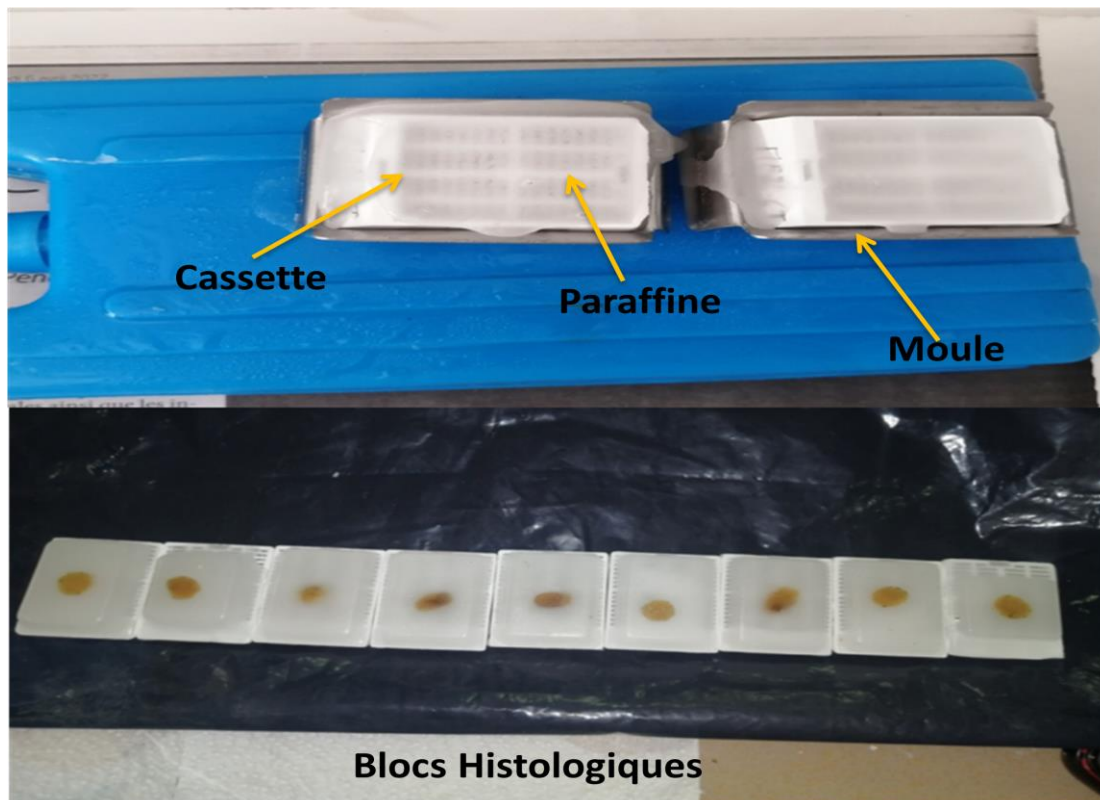
Correspond à substituer l'alcool par un solvant à la paraffine. Les testicules déshydratés sont plongés dans deux bains de butanol à une durée illimitée.

### -Imprégnation

Les pièces sont plongées dans 2 bains successifs de paraffine chaude (60°C) durant 4h pour remplacer le butanol à l'intérieur des organes, puis dans un autre bain de 24h pour bien imprégner les tissus.

### -Inclusion

L'échantillon testiculaire est placé au centre d'un moule préchauffé ; la cassette spécifique sera placée à la surface de ce dernier ; la paraffine fondue est versée sur l'ensemble en évitant les bulles d'air, l'assemblage est ensuite déposé sur une plaque refroidissante (-10 à -15°C) pour faire figer le tout (Figures 18).



**Figure 18** : Etapes de l'inclusion dans des moules (photos originales 2022).

### -Confection des coupes et collage

Cette étape est réalisée grâce à l'utilisation d'un microtome à paraffine (SMCLAB QUIMICA) (Figure 19). Après avoir placé le bloc et le couteau du microtome en toute sûreté, on enlève le surplus de paraffine à 18 $\mu$ m (dégrossir) afin de procéder à la confection des coupes fines de 5 $\mu$ m. Le ruban obtenu est plongé à la surface de l'eau d'une température qui dépasse 40°C ; les coupes sont pêchées à l'aide d'une lame histologique et séchés à 40°C dans une étuve pendant 48h.



**Figure 19** : photographie d'un microtome SMCLAB QUIMICA (originale 2022).

### -Coloration et montage

La coloration des lames nécessite le déparaffinage qui est une opération qui permet de retirer la paraffine au solvant (butanol), puis la réhydratation des coupes qui consiste à reproduire les étapes inverse de celle de la déshydratation pour que la coloration tienne et s'imprègne du tissu.

La coloration utilisée pour ce travail est l'Hématoxyline-Eosine qui permet de colorer les noyaux en bleu et le cytoplasme en rose :

-Hématoxyline 5min.

-Eau courante pendant 5min.

-Eosine pendant 30 secondes.

-Rincer avec l'eau.

-Déshydrater : Les lames sont passées dans les trois bains successifs d'éthanol de degrés croissants (70°, 96°,100°) d'une durée de 5minutes puis deux bains de butanol de 5min chacun.

Le montage des lames permet de conserver la coloration à l'aide d'une résine collante (Eukitt) qui permettra l'adhérence entre la lame et la lamelle. Après cette opération les lames seront séchées et observées au microscope photonique de type OPTICA, équipé d'une caméra.

### 3.3. Etudes statistique

Les résultats de l'analyse spermatique et du poids corporel, des testicules, épидидymes, prostate et vésicule séminales obtenus durant cette étude ont été soumis à une analyse de variance « ANOVA à un facteur ».

Le traitement statistique des données et les présentations graphiques des résultats ont été réalisés avec Microsoft Office Excel 2007. La valeur moyenne est calculée pour chaque paramètre, est suivie par la valeur de l'erreur standard à la moyenne «ESM ». Les degrés de significativité statistiques utilisés sont :

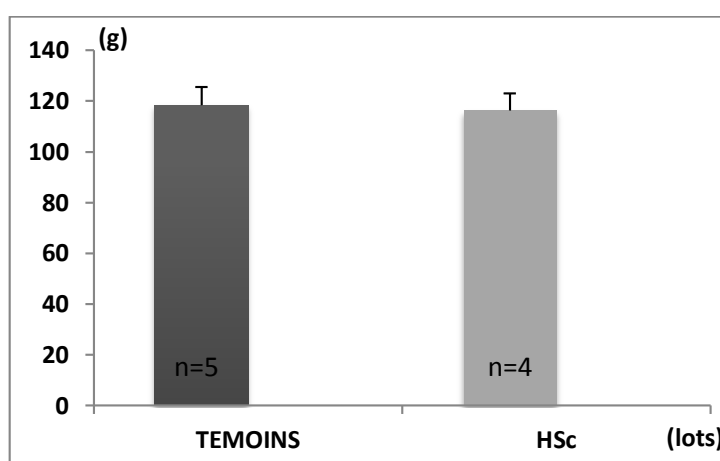
- Si  $0,01 < p < 0,05$  : significative (\*).
- Si  $0,001 < p < 0,01$  : très significative (\*\*).
- Si  $p < 0,001$  : hautement significative (\*\*\*)).
- Si  $P > 0,05$  : non significative.

## 1. Effets de l'hyperthermie scrotale sur les paramètres biométriques

Le poids du corps, des testicules, des épидидymes et des glandes annexes (Vésicules séminales et complexe prostatique) sont exprimés en valeur moyenne accompagnée par l'erreur standard (ESM).

### 1.1. Poids du corps

Le poids corporel moyen des *Meriones libycus* mâles adultes témoins est de  $118,48 \pm 7,15$ g et de  $116,27 \pm 6,7$ g chez les animaux ayant subi une hyperthermie scrotale (HSc). La perte pondérale est estimée à 1,86% et elle est statistiquement non significatif ( $p > 0,05$ ) (Figure 20).

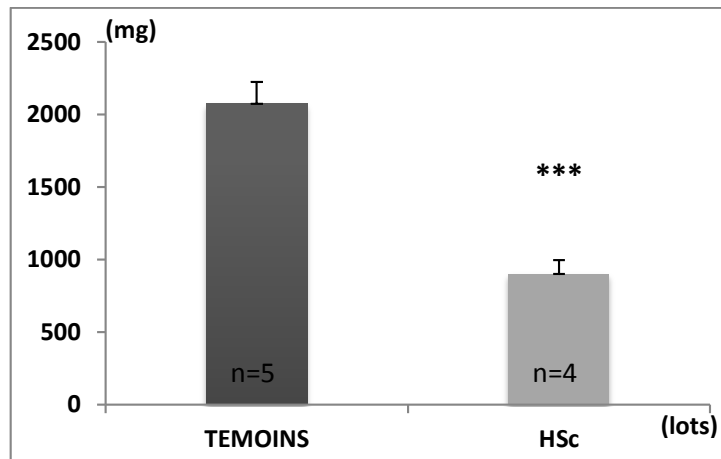


**Figure 20** : Représentation graphique montrant la différence du poids corporel des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (HSc) (n=4).

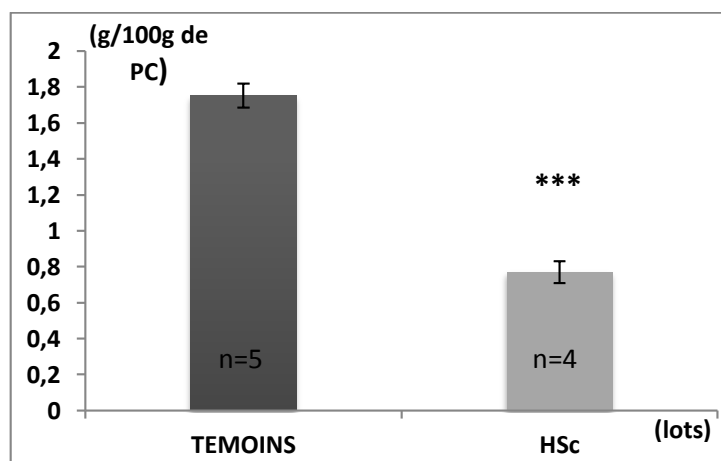
### 1.2. Poids des testicules

Les testicules des animaux témoins pèsent en valeurs absolues  $2075,36 \pm 147$ mg et  $899,12 \pm 95,5$  mg chez les *Meriones libycus* HSc. L'hyperthermie scrotale entraîne une régression pondérale de 56,67% est statistiquement hautement significative ( $p < 0,001$ ) (Figure 21).

En valeurs relatives au poids corporel, les testicules pèsent  $1,75 \pm 0,06$ g /100g du poids corporel chez les *Meriones libycus* témoins. La différence (56,05%) est statistiquement hautement significative ( $p < 0,001$ ) comparée aux valeurs observées chez les animaux ayant subi une hyperthermie scrotale ( $0,77 \pm 0,06$ g /100g du poids du corps) (Figure 22).



**Figure 21** : Représentation graphique montrant la différence du poids absolu moyen des testicules des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).

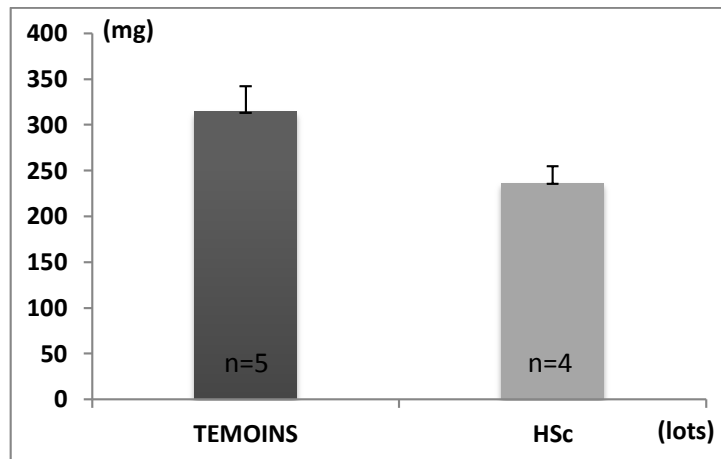


**Figure 22** : Représentation graphique montrant la différence du poids relatif testiculaire entre les *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).

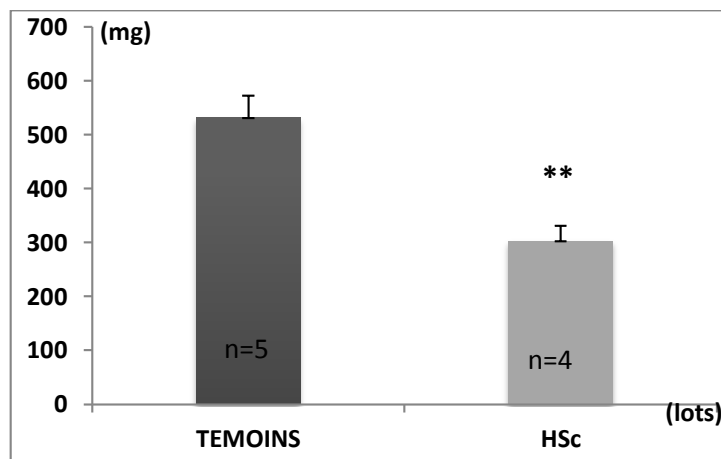
Pc : Poids corporel.

### 1.3. Poids des épидидymes

Le poids des épидидymes proximaux chez les *Meriones libycus* témoins est de  $314,36 \pm 27,8$ mg ; il baisse chez les animaux HSc et ils pèsent  $236,47 \pm 18,5$ . La différence constatée (24,77%) est statistiquement non significative ( $P > 0,05$ ) (Figure 23). Les épидидymes distaux montrent eux aussi une régression pondérale de 42,98% après une hyperthermie scrotale et elle est statistiquement très significative ( $0,001 < p < 0,01$ ), passant de  $531,68 \pm 40,9$ mg chez les témoins à  $303,12 \pm 27,3$ mg chez les *Meriones libycus* expérimentés (Figure 24).



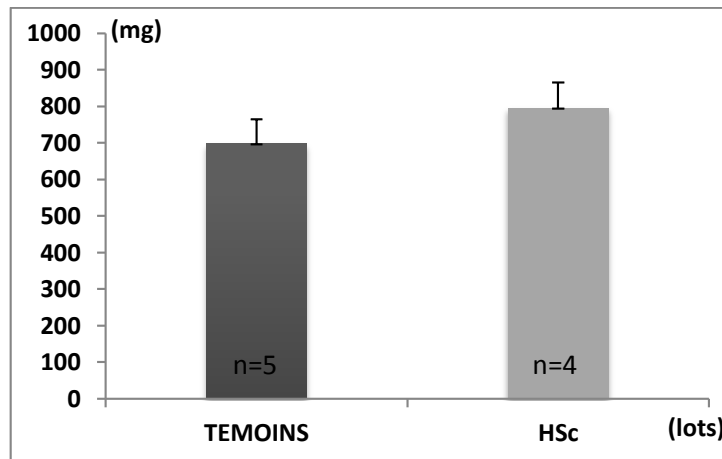
**Figure 23** : Représentation graphique montrant la différence du poids moyen des épидидymes proximaux des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant une hyperthermie scrotale (n=4).



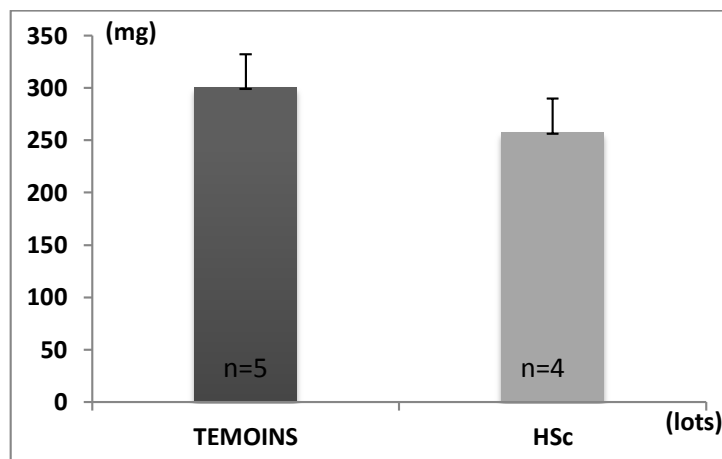
**Figure 24** : Représentation graphique montrant la différence du poids moyen des épидидymes distaux des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).

#### 1.4. Poids des vésicules séminales et prostatique

Chez les *Meriones libycus* témoins, le poids des vésicules séminales est de  $697,58 \pm 66,4$ mg. Le poids enregistré de ces glandes chez les animaux expérimentés est  $749,65 \pm 71,1$ mg et la légère augmentation (12.21%) est statistiquement non significative ( $P > 0,05$ ) (Figure 25). Pour le complexe prostatique, il pèse  $300,26 \pm 32$ mg chez *Meriones libycus* témoins et  $257,2 \pm 33$ mg chez les animaux expérimentés ; la légère régression (14.34%) est statistiquement non significative ( $P > 0,05$ ) (Figure 26).



**Figure 25** : Représentation graphique montrant la différence du poids moyen des vésicules séminales des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).

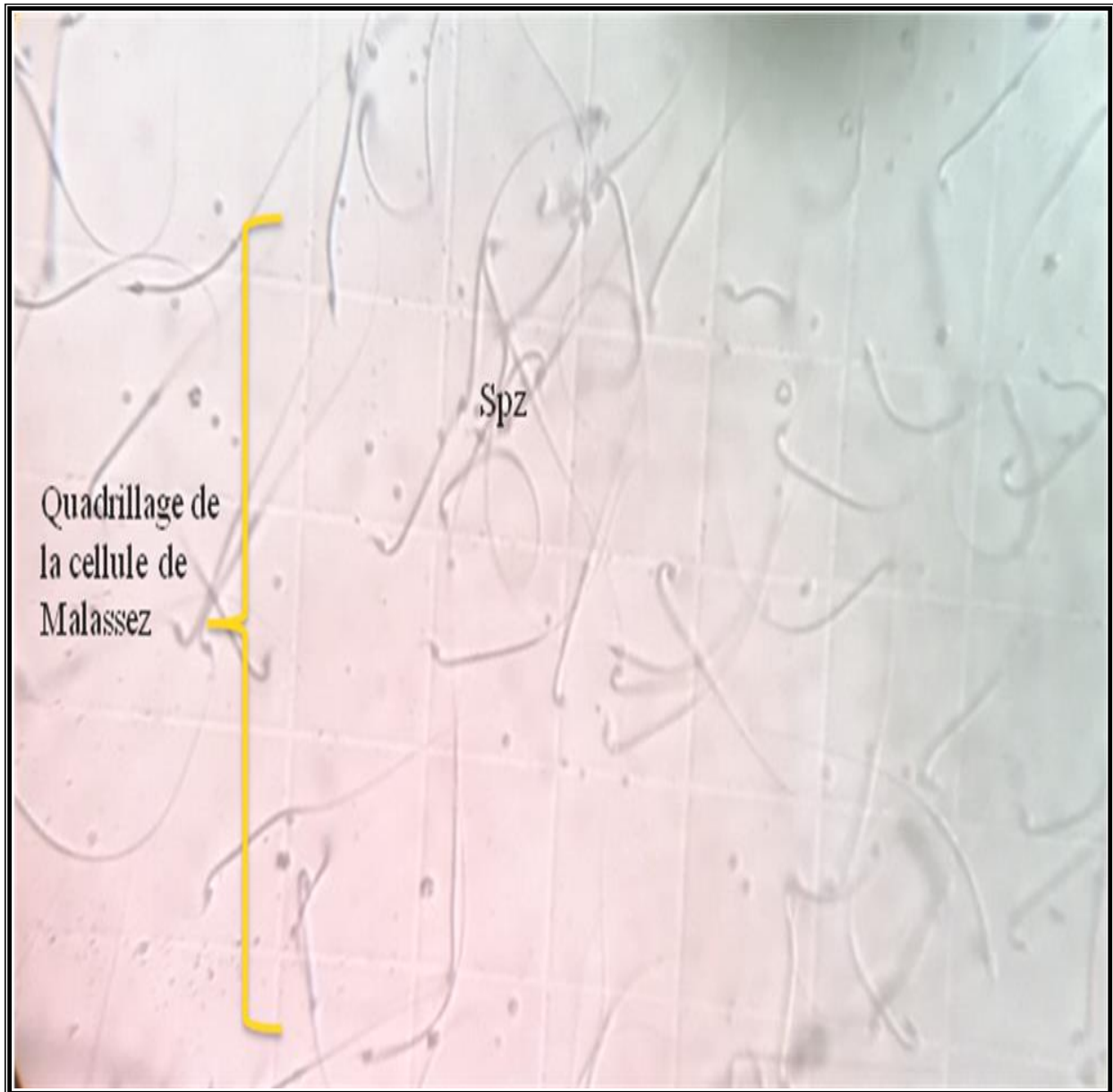


**Figure 26** : Représentation graphique montrant la différence du poids moyen de la prostate des *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).

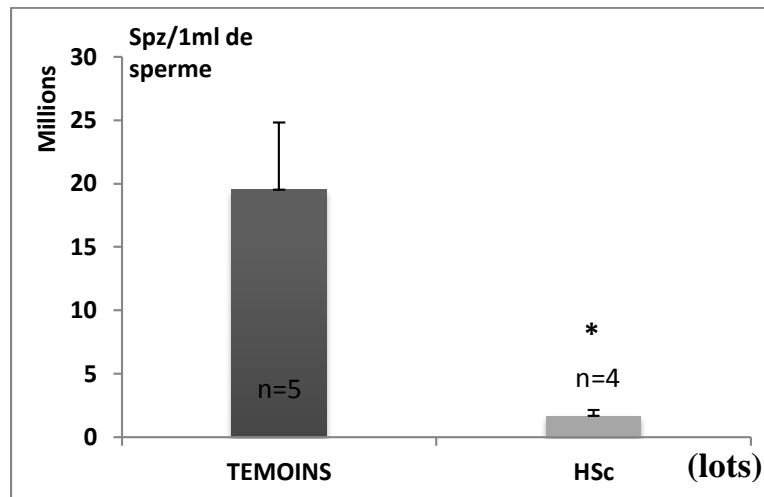
## 2. Effets de l'hyperthermie scrotale sur les paramètres spermatisques

### 2.1. Nombre des spermatozoïdes (Figure 27)

Chez les animaux témoins, le nombre moyen de spermatozoïde dans 1ml de semence est de  $(19,53 \pm 5,28)10^6$  spz/ml. L'hyperthermie scrotale entraîne une baisse du nombre de spermatozoïdes de 91.35%. Ce qui est statistiquement significative ( $0,01 < p < 0,05$ ) (figure 28).



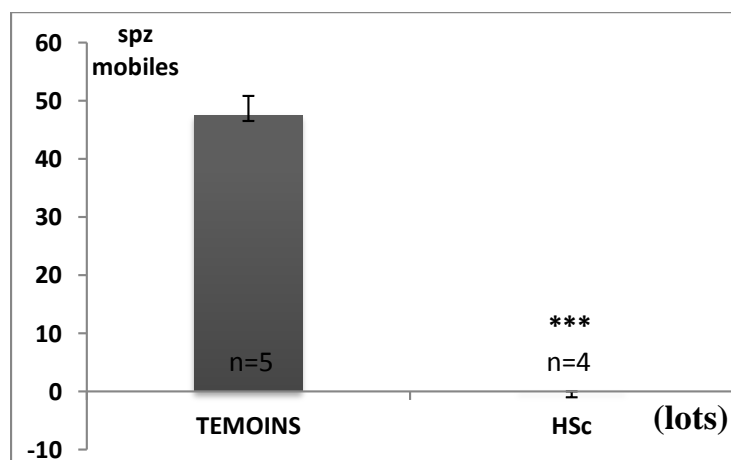
**Figure 27** : dénombrement des spermatozoïdes sous la cellule de Malassez au Gx400 (photo originale 2022).



**Figure 28** : Représentation graphique montrant l'évolution de le nombre de spermatozoïdes (spz) dans 1ml de semence chez les *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subit une hyperthermie scrotale (n=4).

## 2.2. Mobilité des spermatozoïdes

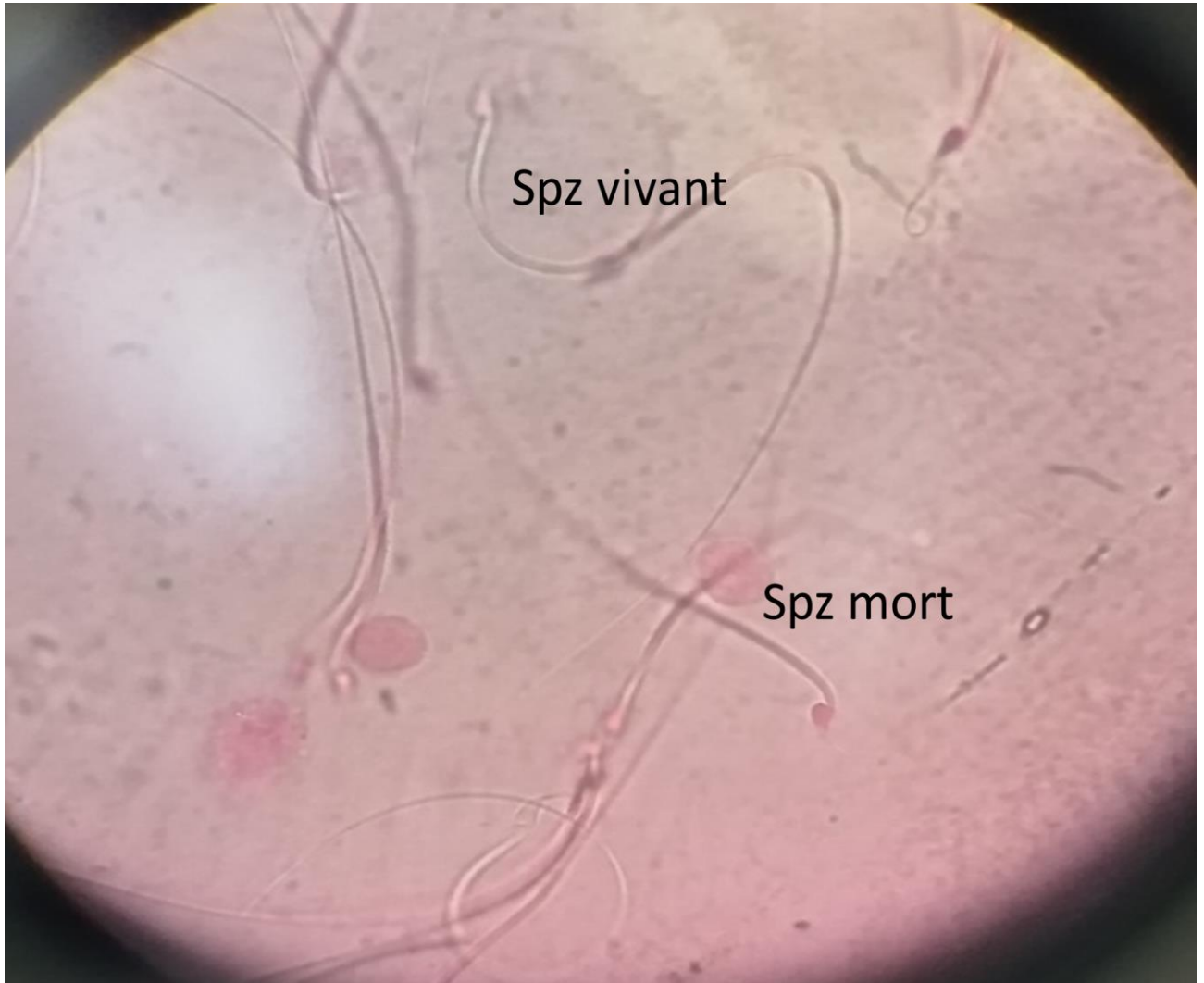
Chez les *Meriones libycus* témoins, le taux de spermatozoïdes mobiles est estimé à 47,5% d'après le dénombrement du nombre de spermatozoïdes mobiles sur 100 spermatozoïdes observés dans des champs différents et éloignés. Par contre, les spermatozoïdes chez les animaux expérimentés sont totalement immobiles et statistiquement hautement significatif ( $p < 0,001$ ) (Figure 29).



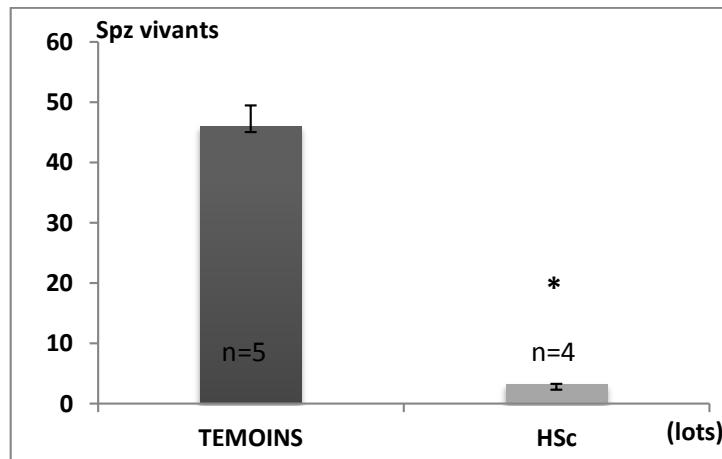
**Figure 29** : Représentation graphique montrant la différence de la mobilité des spermatozoïdes (Spz) chez les *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subit une hyperthermie scrotale (n=4).

### 2.3. Vitalité des spermatozoïdes

Notre analyse a montré qu'environ 45,98% des spermatozoïdes sont vivants chez *Meriones libycus* témoins. Il baisse considérablement chez les animaux expérimentés pour atteindre environ 3,33% et qui statistiquement significative (Figure 30 et 31).



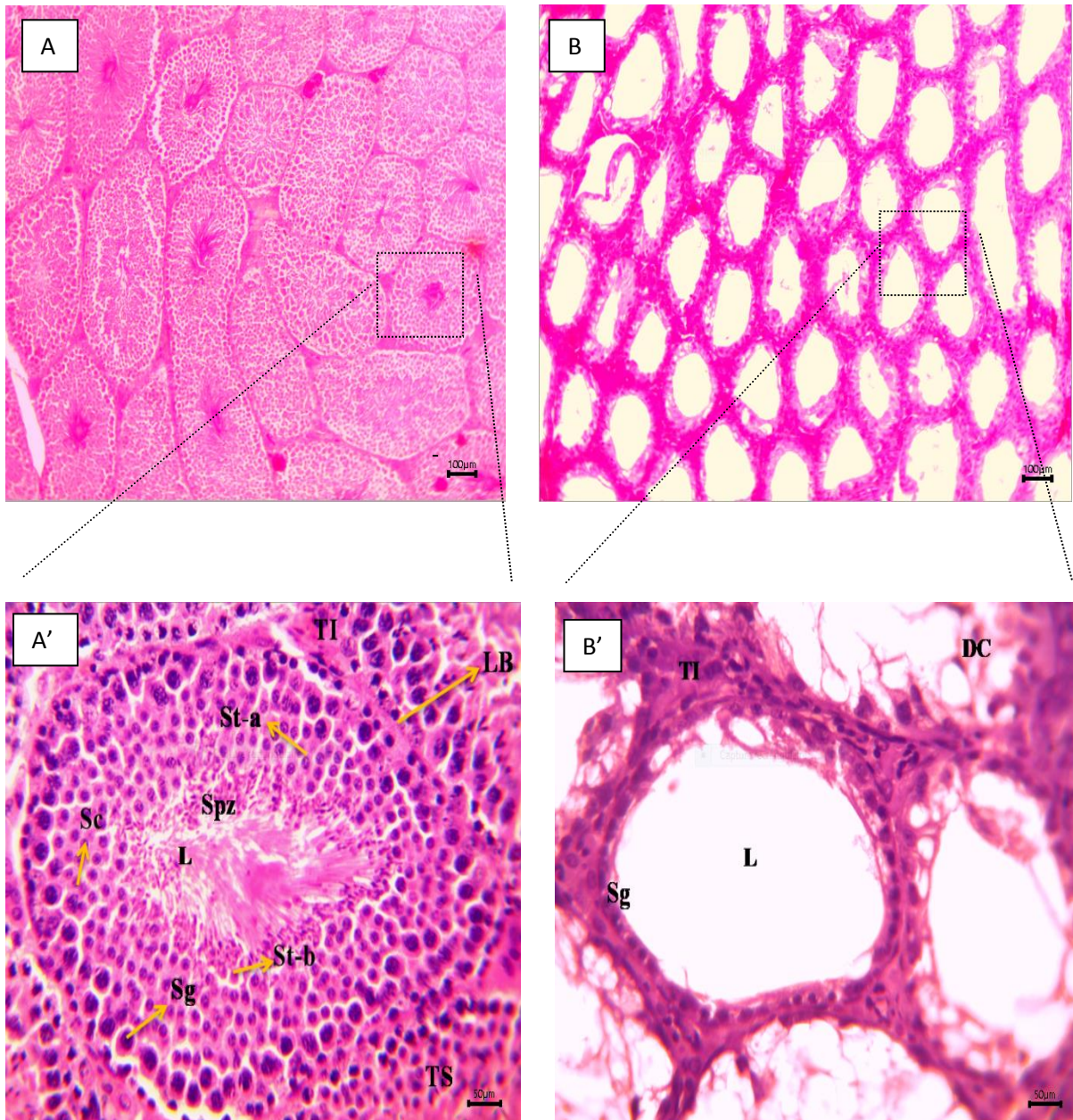
**Figure 30** : Photographie montrant les spermatozoïdes (Spz) vivants (colorés en blanc) et morts (colorés en rose) après coloration à l'éosine 1% au Gx400 (originale 2022).



**Figure 31** : Représentation graphique montrant la différence de la vitalité des spermatozoïdes chez les *Meriones libycus* adultes témoins (n=5) et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (n=4).

### 3. Effets de l'hyperthermie scrotale sur l'histologie testiculaire

Selon les figures 32 et 33 l'histologie du testicule chez les *Meriones libycus* adultes témoin montre des tubes séminifères serrés avec des espaces interstitiels faibles. On peut observer facilement les différents stades de la spermatogenèse (spermatogonies, spermatocyte I et II, spermatides et spermatozoïdes) qui se déroulent d'une façon centripète au niveau de la paroi des tubes séminifères. Les spermatogonies de grande taille sont situées à proximité de la membrane basale. Les spermatocytes I et II viennent après, puis les spermatides plus petits sont situés vers l'intérieur des tubes. Les spermatozoïdes mûrs remplissent presque la totalité de la lumière des tubes par leurs flagelles, appuyant l'activité sexuelle de ces animaux. Après l'hyperthermie scrotale l'histologie des testicules des *Meriones libycus* subit un rétrécissement au niveau des tubes séminifères et une diminution de l'épaisseur de l'épithélium germinale avec juste une assise de spermatogonies, et une lumière vide (sans spermatozoïdes) et quelques débris cellulaires. Le tissu interstitiel est plus développé et hyperplasié que de chez les témoins.



**Figure 32** : Micrographie de coupes histologiques au niveau du testicule de *Meriones libycus* témoins (A) et (A') et ceux ayant subi une hyperthermie scrotale (B) et (B') observés au grossissement Gx100 et Gx400 colorées à l'hématoxyline-éosine montrant les différentes structures histologiques avant et après hyperthermie scrotale. Sg: spermatogonie ; Sc: spermatocyte ; St-a: jeunes spermatides (ronds) ;St-b: spermatides en fin de la spermiogenèse ; Spz: spermatozoïdes ; TS: tube séminifère ; DC: débris cellulaire ; L: lumière ; LB: lame basale ; TI : tissu interstitiel.

### 1. Répercussions de l'hyperthermie scrotale sur les paramètres biométriques des composants de l'appareil reproducteur

Les *Meriones libycus* ayant subi une hyperthermie scrotale de 43°C ne montrent pas de changement significatif de la masse corporelle après deux semaines. Selon Aktas et Kanter, (2009), le poids du corps augmente après 14 jours d'hyperthermie scrotale de 43°C appliquée sur le rat. Notre résultat confirme que le rongeur saharien (*Meriones libycus*) est adapté aux variations des températures de son biotope (Amirat *et al.*, 2003 ; Khaldoune *et al.*, 2018).

Chez le mérion de Libye (*Meriones libycus*), les testicules subissent une régression pondérale en valeurs absolues et relatives après 15 jours de l'hyperthermie scrotale de 43°C. Ces résultats concordent avec ceux obtenus sur la rat (Setchell *et al.*, 1998 ; Setchell *et al.*, 2002 ; Aktas et Kanter, 2009). Setchell *et al.*, (1998) ont pratiqué une hyperthermie scrotale de 41°C pendant 60 minutes ou 43°C pendant 30 minutes chez le rat et ils ont constaté une réduction du poids testiculaire après 24 et 48 heures. Chez la plupart des mammifères, les testicules sont situés à l'extérieur de l'abdomen et à l'intérieure de scrotum. Ils fonctionnent à une température inférieure de quelques degrés à la température normale du corps. Cette température inférieure est nécessaire à la spermatogenèse (Bedford, 1991). De nombreuses autres expériences induisant la cryptorchidie (non descente des testicules dans les bourses) chez les animaux, entraînant une diminution du poids des testicules et des problèmes de fertilité (Banks *et al.*, 2005 ; Agoulnik *et al.*, 2021). Hassanin *et al.*, (2018), Paick et Choi (2019) et Sadeghi *et al.*, (2020) ont montré que le poids et le volume des testicules diminuent après l'induction de la varicocèle chez le rat, cette atrophie testiculaire a été liée à l'apoptose des cellules germinales et bien que le poids des testicules puisse être partiellement récupéré plusieurs semaines après l'exposition à la chaleur, le testicule reste plus léger qu'avant. Certaines pratiques de vie, telles que les bains chauds, les jacuzzis, les bains à remous et les saunas conventionnels, ou à une chaleur sèche, comme dans les saunas modernes de type infrarouge peuvent avoir un impact négatif sur la spermatogenèse et la qualité du sperme en élevant la température testiculaire (Sheynkin *et al.*, 2005 ; Miousset *et al.*, 2007 ; Garolla *et al.*, 2015 ; Laukkanen, 2015).

Chez *Meriones libycus*, des organes reproducteurs annexes (vésicules séminales, prostate et épидидymes) ne montrent pas de variations pondérales significatives après l'hyperthermie scrotale. Il est connu que ces organes sont sensibles aux variations de concentrations androgéniques. Le taux de testostérone circulant régule leur développement à la puberté et maintient leur fonctionnement à l'âge adulte (Cunha et al., 1987 ; Dacheux, 2001). Il serait probable que l'hyperthermie scrotale pratiquée sur *Meriones libycus* ne déstabilise pas considérablement la fonction endocrine testiculaire.

### 2. Répercussions sur les paramètres spermatiques

Les paramètres spermatiques sont altérés considérablement après 15 jours de l'hyperthermie scrotale chez le mérion de Libye. Le nombre de spermatozoïdes, leur mobilité et leur viabilité baissent respectivement. Ces résultats sont appuyés par les travaux de Rao et al., (2015), qui ont démontré qu'une hyperthermie scrotale transitoire chez le rat a induit une baisse spectaculaire du nombre total de spermatozoïdes et de leur motilité progressive. Une augmentation de la température scrotale de 1°C entraîne une baisse de 14% de la spermatogenèse, et par conséquent une moindre production de sperme (Wang et al., 1997). De même, une augmentation de la température scrotale chez l'Homme affecte négativement la qualité de la semence (Hjollund et al., 2002 ; Rizzoto et al., 2020). Il a été constaté que la concentration spermatique chez le rat est en baisse dans les 10 jours qui suivent l'hyperthermie scrotale de 41°C pratiquée durant 60 ou 90 minutes et revient à la normale après environ 38 jours (Setchell et Waites, 1972). Cependant chez le ver rat, dans un certain nombre d'expériences, le nombre de spermatozoïdes n'a pas été affecté, mais la mobilité et le pourcentage de spermatozoïdes normaux ont diminué entre une et six semaines après l'exposition à la chaleur (Malmgren, 1989). Afin de vérifier si la chaleur seule pouvait induire l'azoospermie ou l'oligozoospermie chez les primates non humains, Yan-He Lue et al., (2002) ont appliqué à des singes une hyperthermie scrotale de 43°C durant 30 minutes une fois par jour et pendant 6 jours. Ainsi, ils ont conclu que l'hyperthermie testiculaire légère induit une suppression de la spermatogenèse conduisant à l'oligozoospermie et à l'azoospermie dans le modèle de

primate non humain. Des résultats similaires chez la souris ont été observés par (Ziaei pour *et al.*, 2012). Les travaux de Kastelic *et al.*, (2017) sur les béliers et ceux de Rahman *et al.*, (2018) sur les taureaux et les bovins, ont démontré que L'hyperthermie scrotale détériore la formation et la fonction des mitochondries des cellules, réduisant ainsi la motilité et la viabilité des spermatozoïdes. Morrell, (2020) et Boe-Hansen (2020) ont remarqué des modifications de la morphologie et une baisse de la motilité des spermatozoïdes, détectées dès le huitième jour après l'hyperthermie scrotale chez les taureaux de Brahman. D'un autre côté, l'hyperthermie scrotale appliquée chez les buffles durant une semaine est capable de provoquer une diminution significative de la motilité des spermatozoïdes et elle persiste jusqu'à deux mois (Gonçalves *et al.*, 2021). D'après Wechalekar *et al.*, (2016), une hyperthermie chez la souris aboutit à une réduction du poids des testicules, due à l'apoptose des cellules germinales à un stade donné réduisant ainsi la motilité des spermatozoïdes et l'apparition précoce de défauts des protéines de la membrane des spermatozoïdes après l'exposition.

### **3. Répercussions sur la structure histologique du testicule**

La dernière partie de ce travail a permis de se pencher sur l'aspect histologique des testicules. Nos résultats montrent une interruption de la spermatogenèse avec une persistance d'une assise de spermatogonies. D'après Hjollund *et al.*, (2002) l'hyperthermie scrotal aboutit à une atrophie du l'épithélium germinale et un arrêt de la spermatogénèse chez l'humain. Selon Cai *et al.*, (2010), les cellules de Sertoli sont également affectées par le stress thermique, ce qui les rends incapables de jouer un rôle de soutien au développement des cellules germinales et leur causant des modifications structurales. Aussi, Valles *et al.*, (2014) ont constaté que le stress thermique induit des altérations structurelles, métaboliques, sécrétoires et de l'organisation du cytosquelette de la cellule de Sertoli formant des polynucléés anormaux, bien que ces changements soient temporaires et potentiellement réversible. L'hyperthermie prolongée chez le rat modifie l'intégrité de la barrière-hématotesticulaire induisant l'apoptose des cellules germinales (Elkin *et al.*, 2010 ; Murphyet Richburg, 2015 ; ErLin *et al.*, 2015). Les spermatocytes sont les plus vulnérables à l'apoptose lors d'un stress thermique vu qu'ils migrent vers le compartiment adluminal

au cours du développement (Kim et *al.*, 2013 ; Yoon et *al.*, 2020). Des études antérieures ont constaté que le stress oxydatif est un facteur clé des altérations de la spermatogenèse en déclenchant des dommages aux membranes, aux protéines, à l'ARN et à l'ADN (Paul et *al.*, 2009 ; Houston et *al.*, 2018). Bisht et Dada, (2017) ont noté qu'un stress thermique scrotal léger et transitoire diminue l'expression des enzymes antioxydantes testiculaires et augmente le stress oxydatif testiculaires provoquant des dommages à l'ADN des spermatozoïdes. Plusieurs études ont montré un lien entre le stress oxydatif et les problèmes de fertilité masculine comme la réduction de la qualité du sperme. Le stress oxydatif étant un déclencheur de l'apoptose et de la mort cellulaire (cellules germinales) que l'on pense être médiée par un léger stress thermique scrotal (Kumar et *al.*, 2021). Il est possible que l'arrêt de la spermatogenèse au niveau du testicule de *Meriones libycus* soit le résultat de l'apoptose des cellules germinales provoqué par le stress oxydatif induit par l'hyperthermie scrotale.

Au terme de ce travail nous avons constaté que l'exposition du scrotum à une température élevée chez *Meriones libycus* entraîne un stress thermique testiculaire.

Ce stress thermique n'entraîne pas des variations du poids du corps et des organes reproducteurs annexes (épididyme, le complexe prostatique et les vésicules séminales) chez ce modèle animal, cependant il induit une régression pondérale testiculaire.

L'atrophie testiculaire est interprétée par des modifications dégénératives sévères et une déplétion des cellules épithéliales des tubes séminifères suite à l'arrêt de la spermatogenèse.

L'hyperthermie scrotale a entraîné une altération des paramètres spermatiques chez *Meriones libycus* : oligospermie (baisse du nombre de spermatozoïdes/ml de semence) avec une baisse de vitalité et une mobilité quasi inexistante des spermatozoïdes.

En conclusion, cette étude nous a permis de mettre en évidence l'influence négative de l'hyperthermie scrotale sur les paramètres de reproduction chez *Meriones libycus*. Des paramètres indispensables à la survie de l'espèce, donc au maintien la biodiversité. Par conséquent, le stress thermique entraîné par l'hyperthermie scrotale est un facteur environnemental important dans le contexte du réchauffement climatique actuel, qui pourrait être à l'origine de l'extinction d'animaux incapables de s'adapter aux nouvelles températures. Même s'il est encore discutable que ça soit une cause majeure de la réduction de la qualité du sperme est l'altération de la fertilité à long terme.

Ce travail mérite d'être poursuivi par une analyse de la fonction endocrine testiculaire et l'étude de l'activité de l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique par dosages hormonaux grâce à des méthodes immuno-analytiques qui consistent à utiliser des anticorps spécifiques des hormones. Il serait aussi intéressant d'analyser l'activité spermatogénique en étudiant la prolifération cellulaire et l'induction de l'apoptose par le stress oxydatif. Comprendre les mécanismes moléculaires aiderait à développer des thérapies et une contraception ciblée contre l'infertilité masculine.

## Références Bibliographiques

- Abraham, L., Kierszenbaum. (2006).** Histologie et biologie cellulaire: Une introduction à l'anatomie pathologique. *De Boeck Supérieur*. 619p.
- Agoulnik, A.I., Huang, Z., Ferguson, L. (2012).** Spermatogenesis in cryptorchidism. In: Chan, W.Y., Blomberg, L. (Eds.), *Germline Development: Methods and Protocols*. Springer, New York. 127–147.
- Aktas, C., Kanter, M. (2009).** A morphological study on Leydig cells of scrotal hyperthermia applied rats in short-term. *J Mol Hist*, 40, 31–39.
- Albert et Jean., 2001.** «Biologie du développement» .5ème édition de l'abrégé, 346p.
- Altman P.L. (1962).** « Growth » Biol. Handbooks. *Fed. Am. Soc. Exp. Biol*, Washington. 1,595-602.
- Amirat, Z. et al.,(2003).** Survie et pérennité des espèces, Mécanismes adaptatifs des petits vertébrés des zones arides et semi-aride: Laboratoire de recherche sur les zones arides et société d'histoire Naturelle d'Afrique du nord colloque : Algéro-Français. 12-13.
- Auger, J., Eustache, F. (2000).** Standardisation de la classification morphologique des spermatozoïdes humains selon la méthode de David. *Andrologie*, 8(1), 25-35.
- Aulagnier, S., Thevenot, M. (1986).** Catalogue des mammifères sauvages du Maroc Institut Scientifique Charia Ibn Batouta BP.703. *Rabat-Agdal*, 61-94.
- Banks, S., King, S., Irvine, D., Saunders, P. (2005).** Impact d'un léger stress thermique scrotal sur l'intégrité de l'ADN des spermatozoïdes murins. *Reproduction*, 129(4), 505–514.
- Barone, R. (1978).** Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 3, splanchnologie, Fascicule 2, appareil urogénital, 951, 89-447.
- Barone, R. (2001).** Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 4: Splanchnologie II, *Edition Vigot Frères*. 241-516.
- Bedford, JM (1991).** Effects of Elevated Temperature on the Epididymis and Testis: Experimental Studies, 19-32.

## Références Bibliographiques

- Bendayan, M., Alter, L., Swierkowski-Blanchard, N., Caceres-Sanchez, L., Selva, J., Robin, G., Boitrelle, F., (2018).** Toxiques, mode de vie, environnement : quels impacts sur la fertilité masculine ? *GynécologieObstétriqueFertilité&Sénologie*, 46(1), 47-56.
- Bisht, S., Dada, R. (2017).** Oxidative stress: Major executioner in disease pathology, role in sperm DNA damage and preventive strategies. *FrontBiosci* (Schol Ed), 9(3), 420-447.
- Boe-Hansen, G. B., Rêgo, J. P. A., Satake, N., Venus, B., Sadowski, P., Nouwens, A., Li, Y., McGowan, M. (2020).** Effects of increased scrotal temperature on semen quality and seminal plasma proteins in Brahman bulls. *Molecular Reproduction and Development*, 87(5), 574-597.
- Boissin-Agasse, L., Boissin, J., Ortavant, R.(1981).** Circadian photosensitive phase and photoperiodic regulation of testicular activity in long-day (ferret) and short-day (mink) breeding mammals. *Photopériodisme et reproduction chez les vertébrés*, 51-66.
- Bronson, R. (2010).** Biology of the Male Reproductive Tract: Its Cellular and Morphological Considerations. *American Journal of Reproductive Immunology*, 65(3), 212-219.
- Cai, H., Ren, Y., Li, X.-X., Yang, J.-L., Zhang, C.-P., Chen, M., Liu, Y.X. (2010).** Le stress thermique scrotal provoque une altération transitoire des jonctions serrées et une induction de l'expression du TGF- $\beta$ . *Journal international d'andrologie*, 34(4), 352–362.
- Cangemi, R., Friedmann, A., Holloszy, J., Fontana, L. (2010).** Long-term effects of calorie restriction on serum sex-hormone concentrations in men. *Aging Cell*, 9(2), 236-42.
- Carey, C. (2014).** Climate Change, Extinction Risks, and Reproduction of Terrestrial Vertebrates. *AdvExp Med Biol*, 753, 35-54.
- Christiansen, P., Andersson, A., Skakkebaek, N., Juul, A. (2002).** Serum inhibin B, FSH,LH and testosterone levels before and after human chorionic gonadotropin stimulation in prepubertal boys with cryptorchidism. *European Journal Endoc*, 147, 95- 101.

## Références Bibliographiques

- Chughtai, B., Sawas, A., O'Malley, R., Naik, R., Ali Khan, S., Pentyala, S. (2005).** A neglected gland: a review of Cowper's gland. *Int J Androl*, 28(2),74-77.
- Comhaire, F., Vermeulen, L. (1995).**Human semen analysis.*Human reproduction Update*, 4(1), 343-362.
- Cornwall, G.A. (2009).** New insights into epididymal biology and function.*HumReprod Update*, 15(2), 213-227.
- Cunha, G., Donjacour, A., Cooke, P., Mee, S., Bigsby, R., Higgins, S., Sugimura, Y. (1987).** The endocrinology and developmental biology of the prostate.*Endocr Rev.* 3, 338-62.
- Dacheux, F., Dacheux, J. (2001).**L'épididyme et les glandes annexes. In La reproduction chez les mammifères domestiques et chez l'homme, Thibault C, Levasseur MC (eds). INRA Editions, 290-315.
- Dadoune, J. (1988).** Physiology and Endocrinology.Rangeur reproduction, 2ed. United Kingdom:wiley-blackwell, 881-908.
- Dadoune, J.P., Demoulin, A. (2001).** Structure et fonction du testicule. La reproduction chez les mammifères et chez l'homme. Edition INRA, 256-289.
- Daly, M., Daly, S. (1975).** Socio-Ecology of Saharan Gerbils, Especially *MerionesLibycus*. *Mammalia*, 39(2), 290-311.
- Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., Imtiwati, Kumar, R. (2015).**Impact du stress thermique sur la santé et la performance des animaux laitiers : Une revue. *Veterinary World*, 9 (3): 260-268.
- Dimitriadis, F., Tsiampali, C., Chaliasos, N., Tsounapi, P., Takenaka, A., Sofikitis, N., 2015.** The Sertoli cell as the orchestra conductor of spermatogenesis: spermatogenic cells dance to the tune of testosterone. *Hormones*, 14, 479–503.
- Dohle, G.R., Smit, M., Weber, R.F. (2003).** Androgens and male fertility.*World J Urol*, 21 (5), 341-345.

## Références Bibliographiques

- Drion, P-V., Beckers, J.F., Ectors, F.(1993).** « Physiologie de la reproduction ». Université de Liège, Faculté de médecine vétérinaire, 1 (3), 187.
- Durairajanayagam, D., Agarwal, A., Ong, C. (2015).** Causes, effects and molecular mechanisms of testicular heat stress. *Reproductive BioMedicine Online*,30(1), 14-27.
- Edmonds, K. E., Riggs, L., & Stetson, M. H. (2003).** Food availability and photoperiod affect reproductive development and maintenance in the marsh rice rat (*Oryzomys palustris*). *Physiology & behavior*, 78(1), 41-49.
- Elkin, N., Piner, J., Sharpe, R. (2010).** Toxicant-induced leakage of germ cell-specific proteins from seminiferous tubules in the rat: relationship to blood-testis barrier integrity and prospects for biomonitoring. *Toxicological Sciences*, 117(2), 439-448.
- E-Pédagogie, S. M. S. M. D. P. L. A. P. E. \_.-. (s. d.). A. *Anatomie des testicules et Production de testostérone [Partie 2 : Corps humain et Santé]*. Consulté le 10 octobre 2022, à l'adresse [https://ressources.unisciel.fr/DAEU/biologie/P2/co/P2\\_chap2\\_c01.html](https://ressources.unisciel.fr/DAEU/biologie/P2/co/P2_chap2_c01.html).
- ErLin, S., WenJie, W., LiNing, W., BingXin, L., MingDe, L., Yan, S., RuiFa, H. (2015).** Musashi-1 maintains blood-testis barrier structure during spermatogenesis and regulates stress granule formation upon heat stress. *Molecular Biology of the Cell*, 26(10), 1947–1956.
- Friry-Santini, C.(2007).** Evaluation des effets du flutamide, molécule antiandrogénique, sur l'appareil reproducteur mâle chez le rat Approches protéomique et transcriptomique. Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard- Lyon 1, 24-157.
- Gabrielsen, J. S., Tanrikut, C. (2016).** Chronic exposures and male fertility: the impacts of environment, diet, and drug use on spermatogenesis. *Andrology*,4(4),648-661.
- Garolla, A., Torino, M., Sartini, B., Cosci, I., Patassini, C., Carraro, U., Foresta, C.J.H.R.(2015).** Seminal and molecular evidence that sauna exposure affects human spermatogenesis. *Hum. Reprod*, 28 (4), 877–885.

## Références Bibliographiques

- Geoffroy-Siraudin, C., Loundou, A., Romain, F., Achard, V., Courbière, B., Perrard, M., Durand, P., Guichaoua, M. (2012).** Decline of semen quality among 10 932 males consulting for couple infertility over a 20-year period in Marseille, France. *Asian J Androl*, 14(4), 584-90.
- George, G.(1996).** «Cours d'histologie». Cours du PCEM. Editions Ellipses, 272p.
- Gonçalves, A. A., Garcia, A. R., RolimFilho, S. T., Silva, J. A. R. D., Melo, D. N. D., Guimarães, T. C., Tavares, H. R., Silva, T. V. G., Souza, E. B. D., Santos, S. D. S. D., Ohashi, O. M. (2021).** Scrotal thermoregulation and sequential sperm abnormalities in buffalo bulls (*Bubalus bubalis*) under short-term heat stress. *Journal of Thermal Biology*, 96, 102-842.
- Granjon, L., Denys, C.(2006).** Systématique et biogéographie des Gerbilles sahariennes du genre *Gerbillus* (Rongeurs, Muridés ; Gerbillinés). *Ed. Soc. Hist. Nat. Afrique Nord*, 73, 33–44.
- Gromoll, J., Simoni, M., (2005).** Genetic complexity of FSH receptor function. *Trends Endocrinol. Metab*, 16, 368-373.
- Habeeb, A.A.M., Gad, A.E., EL-Tarabany, A.A., Atta, M.A.A. (2018).** Negative effects of heat stress on growth and milk production of farm animals. *J. Anim. Hus. Dairy Sci*, 2, 1–12.
- Hakonsen, SJ., Pedersen, PU., Bygholm, A., Peters, MD., Bjerrum, M. (2019).** Nursing Minimum Data Sets for documenting nutritional care for adults in primary healthcare: a scoping review. *JBIM Database of Systematic Reviews and Implementation*, 16(1), 117-139.
- Hamamah, S., Saliba, E., Benahmed, M. et Gold, F. (1999).** Médecine et biologie de la reproduction. *Masson*, 310p.
- Hassanin, A. M., Ahmed, H. H., Kaddah, A. N. (2018).** A global view of the pathophysiology of varicocele. *Andrology*, 6(5), 654-661.
- Hermo, L., Robaire, B. (2002).** Epididymal cell types and their functions. In: Robaire, B., Hinton, B.T. (Éd.), *The Epididymis: From Molecules to Clinical Practice*, 81-102.

## Références Bibliographiques

- Hjollund, NHI, Storgaard, L., Ernst, E., Bonde, JP et Olsen, J. (2002).** Impact de la température scrotale diurne sur la qualité du sperme. *Toxicologie reproductive*, 16(3), 215–221.
- Hossain, A., Saunders, GF. (2001).** The human sex-determining gene SRY is a direct target of WT1. *J Bio Chem*, 276, 16817-16823.
- Hou, Y., Wang, X., Lei, Z., Ping, J., Liu, J., Ma, Z., Zhang, Z., Jia, C., Jin, M., Li, X., (2015).** Heat stress induced metabolic changes and altered male reproductive function. *J. Proteome Res.* 14, 1495–1503.
- Houston, B. J., Nixon, B., Martin, J. H., De Iuliis, G. N., Trigg, N. A., Bromfield, E.G., Aitken, R. J. (2018).** Heat exposure induces oxidative stress and DNA damage in the male germ line. *Biology of Reproduction*, 98(4), 593–606.
- Hu, J., Zhang, Z., Shen, W.-J., Azhar, S., (2010).** Cellular cholesterol delivery, intracellular processing and utilization for biosynthesis of steroid hormones. *NutrMetab (Lond)*, 7 (1), 1-47.
- Ivell, R. (2007).** Lifestyle impact and the biology of the human scrotum. *Reprod. Biol. Endocrinol*, 5, 1477–1482.
- Ivell, R., Heng, K., Anand-Ivell, R. (2014).** Insulin-like factor 3 et l'axe HPG chez l'homme. *Frontières en endocrinologie*, 5, 6p.
- Jeays-Ward, K., Hoyle, C., Brennan, J., Dandonneau, M., Alldus, G., Capel, B., Swain, A. (2003).** Endothelial and steroidogenic cell migration are regulated by WNT4 in the developing mammalian gonad. *Development*, 130(16), 3663-3670.
- Johnson, M.H., Everitt, B.J. (2002).** La fonction testiculaire chez l'adulte, In: Johnson, M.H., Everitt, B.J. (Éd.), *Reproduction*. Chapitre 4. 1<sup>ère</sup> édition. De Boek université, Paris, France, 4-68.
- Julien de Vive les SVT.com. (2011, 4 janvier). *Dissection de l'appareil uro-génital de la souris | Vive les SVT ! Les sciences de la vie et de la Terre au collège et au lycée - Cours de SVT en ligne*. Consulté le 10 octobre 2022, à l'adresse <https://www.vivelessvt.com/college/4eme/dissection-de-lappareil-uro-genital-de-la-souris/>.

## Références Bibliographiques

- Junqueira, L.C., Carneiro, J. (2007).** Basic histology. *The Mc Grow hill companies*, 260-265.
- Kastelic, J.P., Wilde, R.E., Rizzoto, G., Thundathil, J.C. (2017).** Hyperthermia and not hypoxia may reduce sperm motility and morphology following testicular hyperthermia. *Vet. Med-Czech.* 62 (8), 437–442.
- Kenny, G. P. (2017).** Heat remains unaccounted for in thermal physiology and climate change research, 6(7), 221p.
- Kerr, J.B. (2006).** Ultrastructure of the seminiferous epithelium and intertubular tissue of the human testis. *Microsc. Tech*, 19, 215-240.
- Khaldoun-Benabbes, M., Charallah-chérif, S., Benmouloud, A., Khammar, F., A, Z.(2018).** Interrelation endocrine et adaptations physiologiques à l'environnement saharien chez les mammifères : Laboratoire de recherche sur les zones arides. *Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord*, 74(1), 56-64.
- Kim, B., Park, K., Rhee, K. (2013).** Heat stress response of male germ cells. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 70(15), 2623–2636.
- Kumar, M., Ratwan, P., Dahiya, S., Nehra, A. K. (2021).** Climate change and heat stress: Impact on production, reproduction and growth performance of poultry and its mitigation using genetic strategies. *Journal of Thermal Biology*, 97, 102-867.
- Laukkanen, T., Khan, H., Zaccardi, F., Laukkanen, J. (2015).** Association between sauna bathing and fatal cardiovascular and all-Cause mortality events. *JAMA Intern Med*, 17(5), 542-548.
- Lebas, F., Coudert, P., De Rochambeau, H. (1990).** Le lapin : élevage et pathologie. Collection F.A.O : production et santé animale, 1-210.
- Lebas, F. (2004).** La Biologie du Lapin. In /<http://www.cuniculture.info> (consultation Avril 2004).
- Le Berre, M.(1990).** Faune du Sahara. Volume 2 : Mammifères, Paris, Édition Chabaud-Le Chevalier, *Collection Terre africaine*, 360 p.

## Références Bibliographiques

- Levy Dutel, L., Berthaut, I., Brunet, L., DudkiewiczSiboney, C., Minker, C., Pfeffer, J. (2015).**Le grand livre de la fertilité. C groupe EYROLLES ISBN, 280p.
- Lie, P.P.Y., Mruk, D.D., Lee, W.M., Cheng, C.Y., 2010.**Cytoskeletal dynamics and spermatogenesis.*Philos Trans R Soc B BiolSci*, 365 (1546), 1581-1592.
- Limited, A. (s. d.). *Spermatogenèse, division des cellules mitotiques et méiotiques*. Alamy images. Consulté le 10 octobre 2022, à l'adresse <https://www.alamyimages.fr/spermatogenese-division-des-cellules-mitotiques-et-meiotiques-image454856858.html?imageid=7546C010-7A71-4A46-A573-ED569CA0B759>.
- Lue, Y. (2002).** Mild testicular hyperthermia induces profound transitional spermatogenic suppression through increased germ cell apoptosis in adult *Cynomolgus* monkeys (*Macaca fascicularis*). *Journal of Andrology*, 23(6), 799-805.
- Luzi F, Maertens L, Mijten P, Pizzi F.(1996)** Effect of feeding level and dietary protein content on libido and semen characteristics of bucks. Proc 6th World Rabbit Congress, Toulouse, 2, 87-92.
- Malmgren, L. (1989).** Experimentally induced testicular alterations in boars: sperm morphology changes in mature and peripubertalboars.*Journal of Veterinary Medicine A*, 36, 411-420.
- Mamkhair, I. H., Samara, F. F., Shehab, A. H. (2007).** Morphological characteristics of the Libyan Jird,*Meriones libycus*.Lichtenstein, 1823 (Rodentia :Gerbillinae), in Syria. *Zoology in the Middle East*, 42(1), 37-46.
- Mandonnet, N., Tillard, E., Faye, B., Collin, A., Gourdine, J., Naves, M., Bastianneli, D., Tixier-Boichard, M., Renaudeau, D. (2011).**Adaptation des animaux d'élevages aux multiples contraintes des régions chaudes. INRAE Productions Animales, 24(1),41-64.
- Marengo, SR. (2008).**Marengo SR. Maturing the sperm: unique mechanisms for modifyingintegralproteins in the sperm plasma membrane. *AnimReprodSci*,105(1-2), 52-63.

## Références Bibliographiques

- Mieusset, R., Bengoudifa, B., Bujan, L. (2007).**Effect of Posture and Clothing on Scrotal Temperature in Fertile Men.*Journal of Andrology*, 28(1), 170-175.
- Morrell, J. M. (2020).** Heat stress and bull fertility. *Theriogenology*, 153, 62-67.
- Mruk, D. D., Cheng, C. Y. (2015).** The mammalian blood-testis barrier: its biology and regulation. *Endocrine reviews*, 36(5), 564-591.
- Murphy,CJ., Richburg, JH. (2015).**Implications of Sertoli cell induced germ cell apoptosis to testicular pathology. *Spermatogenesis*, 4(2), 97-110.
- Nguyen, S.Y., Bourouina, R. (2008).** Manuel d'anatomie et de physiologie : Les Fondamentaux. *Editions Lamarre*, Paris, 421p.
- Oatley, J. M.,Brinster, R. L. (2008).** Regulation of spermatogonial stem cell self-renewal in mammals. *Annualreview of cell and developmentalbiology*, 24, 263.
- Ounis, L. (2014).** Les anomalies morphologiques responsables des infertilités masculines dans l'Est Algerien: Aspect épidémiologique et génétique. Thèse pour obtenir le diplôme de doctorat en biochimie-biologie cellulaire et moléculaire. Université Constantine 1.
- Paick, S., Choi, W.S., (2019).**Varicocele and testicular pain: a review. *World J. Mens Health*, 37 (1), 4–11.
- Parrish, J.J. (2019).** Spermatogenesis, Heat Stress and Male Infertility.Molecular Signaling in Spermatogenesis and Male Infertility.*CRC Press*, 167–173.
- Paul, C., Teng, S., Saunders, P.T., 2009.** A single, mild, transient scrotal heat stress causes hypoxia and oxidative stress in mouse testes, which induces germ cell death. *Biol. Reprod*, 80 (5), 913–919.
- Pearson, S., Betancourt, J.L. (2002).** Comprendre les milieux arides à l'aide des amas de rongeurs fossiles. *Journal des environnements arides*, 50 (3), 499-511.
- Petter, F.(1961).** Répartition géographique et écologique des rongeurs désertiques (du Sahara occidental à l'Iran oriental). *Mammalia*, 222p.
- PHYSIOLOGY REPRODUCTION.* (s. d.). Consulté le 10 octobre 2022, à l'adresse <https://slideplayer.com/slide/10829491/>.

## Références Bibliographiques

- Pietrement, C. (2006).** Hétérogénéité physiologique de l'épithélium de l'épididyme : sécrétion de protons via la H<sup>+</sup>-ATPase vacuolaire dans les cellules claires et transport d'eau et de solutés via l'aquaporine 9 dans les cellules principales. Thèse de Doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 128p.
- Rahman, M. B., Schellander, K., Luceño, N. L., van Soom, A. (2018).** Heat stress responses in spermatozoa: Mechanisms and consequences for cattle fertility. *Theriogenology*, 113, 102-112.
- Rao, M., Zhao, X., Yang, J., Hu, S., Lei, H., Xia, W., Zhu, C. (2015).** Effect of transient scrotal hyperthermia on sperm parameters, seminal plasma biochemical markers, and oxidative stress in men. *Asian J Androl*, 17(4), 668-675.
- Rehm, S., White, T. E., Zahalka, E. A., Stanislaus, D. J., Boyce, R. W. & Wier, P. J. (2008).** Effects of Food Restriction on Testis and Accessory Sex Glands in Maturing Rats. *Toxicologic Pathology*, 36(5), 687-694.
- Rizzoto, G., Boe-Hansen, G., Klein, C., Thundathil, J., Kastelic, J. (2020).** Acute mild heat stress alters gene expression in testes and reduces sperm quality in mice. *Theriogenology*, 158, 375-381.
- Robin, G., Boitrelle, F., Leroy, X., Peers, M.C. Marcelli, F., Rigot, J.M., Mitchell, V. (2010).** Bilan d'une azoospermie : évaluation histologique de la spermatogénèse. *In Annales de pathologie*, 30(3), 182-195.
- Roger, T. (2009).** L'appareil génital mâle des Mammifères domestiques. Documents de cours de l'unité d'anatomie, Vetagro-sup, Campus vétérinaire de Lyon, 54p.
- Sadeghi, N., Erfani-Majd, N., Tavalaei, M., Tabandeh, MR, Drevet, JR et Nasr-Esfahani, MH. (2020).** Signs of ROS-Associated Autophagy in Testis and Sperm in a Rat Model of Varicocele. *Oxid Med Cell Longev*.
- Salamon, S. (1976).** « Artificial insemination in sheep » Animal husbandry department university of Sydney, 139p.

*Scrotum : structuur, functies, ziekten.* (s. d.). Consulté le 10 octobre 2022, à l'adresse [https://nl-m.iliveok.com/health/scrotum\\_110335i16010.html](https://nl-m.iliveok.com/health/scrotum_110335i16010.html).

## Références Bibliographiques

- Setchell, B.P., Waites, G. (1972).** The effects of local heating of the testis on the flow and composition of rete testis fluid in the rat, with some observations on the effects of age and unilateral castration. *Journal of Reproduction and Fertility*, 30, 225-233.
- Setchell, B.P. (1998).** Heat and the testis. *J. Reprod. Fert.*, 114, 179–194.
- Setchell, B., Ploen, L., Ritzen, E. (2002).** Effet du chauffage local des testicules de rat après suppression de la spermatogenèse par prétraitement avec un agoniste de la GnRH et un anti-androgène. *Reproduction*, 124(1), 133–140.
- Setchell, B.P., Breed, W.G.(2006).** Anatomy, vasculature and innervation of the male reproductive tract. *Physiology of Reproduction*, 17(3), 771-825.
- Sheynkin, M.J., Peter, Y., David, S., Eugene, K.(2005).** Augmentation de la température scrotale chez les utilisateurs d'ordinateurs portables, *Reproduction humaine*, 20(2), 452–455.
- Shinomiya, A., Shimmura, T., Nishiwaki-Ohkawa, T., Yoshimura, T. (2014).** Régulation de la reproduction saisonnière par activation hypothalamique de l'hormone thyroïdienne. *Endocrinol*, 5, 12p.
- Shum, W.W.C., Da Silva, N., Brown, D., Breton, S. (2009).** Regulation of luminal acidification in the male reproductive tract via cell-cell crosstalk. *JExpBiol*, 212 (11), 1753-1761.
- Siffroi, JP. (2001).** L'appareil génital masculin. Service d'Histologie, Biologie de la Reproduction et Cytogénétique Hôpital Tenon, Paris. 1-45.
- Soltner, D. (1989).** La Reproduction des Animaux d'Élevage. *Collection Sciences et Technique Agricoles*. ANGERS, 227p.
- Soufir, J.C. (2010).** Sécrétions de l'appareil génital masculin et fertilité. *Médecine de la Reproduction*, 12(3), 216-224.
- Stocco, D., Mcphaul, M. (2006).** Physiology of testicular steroidogenesis. *Physiology of Reproduction*, 20, 977-1016.
- Theau-Clément, M., Delhomme, G., Valteau, C., Rideaud, P., Falières, J., Mercier, P.(2003).** Influence du nombre de spermatozoïdes inséminés sur les

## Références Bibliographiques

- performances de reproduction des lapines en fonction de leur état physiologique. 10èmes *Journ. Rech. Cunicole*, Paris, France, 73-76.
- Thibault, C., Levasseur, M. (2001).** La reproduction chez les mammifères et l'homme. Paris, Editions INRA ; 928p.
- Vacheret, N. (1999).** Histologie fonctionnelle des organes [en ligne]. Faculté de Médecine. Laennec. Université Claude Bernard - Lyon 1 France, 1-4.
- Vallés, A., Aveldaño, I., Furland, N. (2014).** Altered lipid homeostasis in Sertoli cells stressed by mild hyperthermia. *PLoS One*, 9(4), 91-127.
- Wang, C., McDonald, V., Leung, A., Superlano, L., Berman, N., Hull, L., Swerdloff, R. S. (1997).** Effect of increased scrotal temperature on sperm production in normal men. *Fertility and Sterility*, 68(2), 334-339.
- Wechalekar, H., Setchell, B. P., Pilkington, K. R., Leigh, C., Breed, W. G., Peirce, E. (2016).** Effects of whole-body heat on male germ cell development and sperm motility in the laboratory mouse. *Reproduction, Fertility and Development*, 28(5), 545.
- Wémeau, J. L. (2014).** Fonction gonadique et reproduction masculine. *La Presse Médicale*, 43(2), 150-151.
- Widmaier, H., Raff, K., Strang, T. (2009).** Physiologie humaine, Maloine, 703p.
- Wikipedia contributors. (2022, 10 juin). *Spermatozoïde humain*. Consulté le 10 octobre 2022, à l'adresse [https://fr.wikipedia.org/wiki/Spermatozo%C3%AFde\\_humain](https://fr.wikipedia.org/wiki/Spermatozo%C3%AFde_humain).
- Wingfield, J. C., Perfito, N., Calisi, R., Bentley, G., Ubuka, T., Mukai, M., O'Brien, S. Tsutsui, K. (2016).** Putting the brakes on reproduction: Implications for conservation, global climate change and biomedicine. *General and Comparative Endocrinology*, 227, 16-26.
- Wistuba, J., Stukenborg, J.B., Luetjens, C.M. (2007).** Mammalian spermatogenesis. *FunctDev Embryol.* 1 (2), 99-117.
- Yoon, J., & Rhee, K. (2020).** Whole body heat exposure causes developmental stage-specific apoptosis of male germ cells. *Molecular Reproduction and Development*, 87(6), 680-691.

## Références Bibliographiques

**Zhang, J., Rao, X., Sun, L., Zhao, C., Qin X. (2007).** Putative chemical signals about sex, individuality, and genetic background in the preputial gland and urine of the house mouse (*Mus musculus*). *ChemSenses*, 32(3), 293-303.

**Ziaeipour, S., Piryaei, A., Aliaghaei, A., Nazarian, H., Naserzadeh, P., Ebrahimi, V., Abdi, S., Shahi, F., Ahmadi, H., FadaeiFathabadi, F., Abdollahifar, M. A. (2021).** Chronic scrotal hyperthermia induces azoospermia and severe damage to testicular tissue in mice. *Acta Histochemica*, 123(4), 151-712.

## Résumé

Le mérione de Libye (*Meriones libycus*) est un rongeur saharien nocturne, capturé dans la région de Béni-abbés (30°7'N, 2°10'O ; Algérie) durant la période d'activité testiculaire au printemps. L'objectif de ce travail est d'étudier les effets de l'hyperthermie scrotale sur les paramètres biométriques, spermatiques et l'histologie testiculaire. Après une anesthésie générale, Les scrotums des *Meriones libycus* adultes expérimentés sont plongés dans l'eau à 43°C, durant 30min par jour et pendant 4 jours. Après 15 jours, les animaux témoins et expérimentés sont sacrifiés, les testicules et les organes reproducteurs annexes sont prélevés, pesés et fixés pour une exploration histologique. La détermination des paramètres spermatiques a été effectuée Simultanément. Le poids du corps, des épидидymes proximaux, des vésicules séminales et de la prostate ne montre pas de différence significative entre les deux lots d'animaux. Par contre, le poids des épидидymes distaux et testiculaire diminue respectivement de manière significative chez les animaux expérimentés. L'atrophie testiculaire est interprétée par des altérations histologiques remarquables : Les tubes séminifères sont rétrécis, l'épithélium germinal est réduit à une assise de spermatogonies avec arrêt de la spermatogenèse et absence de spermatozoïdes à l'intérieure d'une lumière vide. Il en résulte une altération des paramètres spermatiques étudiés : oligospermie avec baisse considérable de motilité et de vitalité des spermatozoïdes. Chez la plupart des mammifères, les testicules fonctionnent à une température inférieure de quelques degrés à la température corporelle. Cette température inférieure est nécessaire pour maintenir leur fertilité.

**Mots clés :** hyperthermie scrotale ; *Meriones libycus*; poids ; testicule, spermatozoïdes, histologie.

## Abstract

The Libyan merion (*Meriones libycus*) is a nocturnal Saharan rodent, captured in the Beni-abbes region (30°7'N, 2°10'W; Algeria) during the testicular activity period in spring. The objective of this work is to study the effects of scrotal hyperthermia on biometric, spermatoc parameters and testicular histology. After a general anaesthesia, the scrotums of experienced adult *Meriones libycus* were immersed in water at 43°C, for 30 min per day and for 4 days. After 15 days, the controls and experimental animals were sacrificed, and the testes and annexed reproductive organs were removed, weighed and fixed for histological examination. The determination of spermatoc parameters was performed simultaneously. Body weight, proximal epididymides, seminal vesicles, and prostate weights showed no significant difference between two animals groupes. On other hand, the weight of distal epididymides and testis decreased significantly in the experimental group. Testicular atrophy is interpreted by remarkable histological alterations: the seminiferous tubules are shrunken, the germinal epithelium is reduced to a bed of spermatogonia with cessation of spermatogenesis and absence of spermatozoa inside an empty lumen. This results in an alteration of the studied sperm parameters: oligospermia with a considerable decrease in sperm motility and vitality. In most mammals, the testicles function at a temperature a few degrees lower than the body temperature. This lower temperature is necessary to maintain their fertility.

**Key words:** scrotal hyperthermia; *Meriones libycus*; weight; testis, spermatozoa, histology.