



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

OATAO is an open access repository that collects the work of Toulouse researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in : <http://oatao.univ-toulouse.fr/>
Eprints ID : 19330

To cite this version :

Garrigue, Maëlys. *Effet du stress thermique sur les paramètres séminologiques de taureaux de centre d'insémination*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2017, 61 p.

Any correspondance concerning this service should be sent to the repository administrator: staff-oatao@inp-toulouse.fr.

EFFET DU STRESS THERMIQUE SUR LES PARAMETRES SEMINOLOGIQUES DE TAUREAUX DE CENTRE D'INSEMINATION

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

GARRIGUE, Maëlys

Née, le 28/05/1990 à SARLAT-LA-CANEDA (24)

Directeur de thèse : Mme Nicole HAGEN-PICARD

JURY

PRESIDENT :
M. Louis BUJAN

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSEESSEURS :
Mme Nicole HAGEN-PICARD
M. Didier RABOISSON

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :
M. Brahim KHIREDDINE
M. Stephane FLOC'H

Vétérinaire, AURIVA
Docteur Vétérinaire, CEVA Santé Animale

**Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation
ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directrice : **Madame Isabelle CHMITELIN**

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **AUTEFAGE André**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **CLAUW Martine**, *Pharmacie-Toxicologie*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- M. **FRANC Michel**, *Parasitologie et Maladies parasitaires*
- M. **MILON Alain**, *Microbiologie moléculaire*
- M. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

PROFESSEURS 1° CLASSE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **LIGNEREUX Yves**, *Anatomie*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **PICAVET Dominique**, *Pathologie infectieuse*
- M. **SANS Pierre**, *Productions animales*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2° CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*

PROFESSEURS CERTIFIES DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
M **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*
M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
M. **CUEVAS RAMOS Gabriel**, *Chirurgie Equine*
Mme **DANIELS Hélène**, *Microbiologie-Pathologie infectieuse*
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcins*
Mme **PRADIER Sophie**, *Médecine interne des équidés*
M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

Mme **COSTES Laura**, *Hygiène et industrie des aliments*
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
Mme **SABY-CHABAN Claire**, *Gestion de la santé des troupeaux bovins*

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Louis BUJAN,

Praticien hospitalier

Médecine et biologie de la reproduction

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de jury de cette thèse,
Hommage et remerciements respectueux.

A Madame le Professeur Nicole HAGEN-PICARD,

Professeur de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Pathologie de la reproduction

Qui m'a proposé ce sujet de thèse et accepté d'en encadrer le travail,
Qui m'a soutenu dans mon projet professionnel et personnel,
Reconnaissance et remerciements les plus sincères.

A Monsieur le Docteur Didier RABOISSON,

Maître de conférences de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse

Productions animales

Qui a accepté de prendre part au jury de cette thèse,
Qui m'a fait l'honneur de participer à sa réalisation,
Sincères remerciements.

A Monsieur Brahim KHIREDDINE,

Vétérinaire responsable du centre de production de AURIVA

A l'origine de ce projet de thèse,
Pour sa disponibilité et son aide,
Sincères remerciements.

VALORISATION SCIENTIFIQUE

Ce travail a été réalisé à l'école Nationale Vétérinaire de Toulouse, en collaboration avec AURIVA et CEVA Santé Animale.

Cette étude a fait l'objet de plusieurs présentations :

PICARD-HAGEN N., GACHET A, GARRIGUE M, FLOCH S, SAINT-BLANCAT M, KHIREDINE B, RABOISSON D. 2016. The effect of heat stress on female fertility in cattle and on the semen parameters of bulls from insemination centers, in southwest France. **18th International Congress of Animal Reproduction. Tours**, june 26-30 2016, p:106. Poster.

PICARD-HAGEN N., GACHET A, GARRIGUE M, FLOCH S, SAINT-BLANCAT M, KHIREDINE B, RABOISSON D. 2016. Impact du stress thermique sur la fertilité des vaches et sur les paramètres séminologiques de taureaux d'insémination du Sud-Ouest de la France. **Journées Nationales des GTV: Nantes**, 18-20 mai 2016, p:155-160. Communication orale.

PICARD-HAGEN N., GACHET A, GARRIGUE M, FLOCH S, SAINT-BLANCAT M, KHIREDINE B, RABOISSON D. 2016. Effet du stress thermique sur la fertilité des vaches et sur les paramètres séminologiques de taureaux d'insémination du Sud-Ouest de la France. **Rencontre Recherche Ruminants** : Paris, 7-8 décembre 2016, p:113-116. Communication orale.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	5
VALORISATION SCIENTIFIQUE.....	6
TABLE DES MATIERES.....	7
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	8
LISTE DES ABBREVIATIONS.....	11
INTRODUCTION.....	12
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	13
1. Quelques éléments de physiologie de la reproduction mâle.....	13
2. Production des paillettes et évaluation des paramètres séminologiques dans les centres de collecte bovins.....	14
2.1. Récolte du sperme au vagin artificiel (Gerard, Khiredine 2002).....	14
2.2. Examen séminologique.....	14
2.3. Traitement des éjaculats.....	15
3. La thermorégulation (pour revue, Collier et al., 2015).....	16
4. Les Effets du stress thermique.....	20
4.1. Effets du stress thermique sur les hormones sexuelles.....	21
4.2. Effets du stress thermique sur la libido.....	21
4.3. Effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques.....	22
PARTIE EXPERIMENTALE.....	35
1. Matériels et méthodes.....	35
1.1. Centres de collecte de semence.....	35
1.1.1. Situation géographique.....	35
1.1.2. Conduite d'élevage des taureaux.....	35
1.2. Base de données.....	37
1.3. Données météorologiques.....	42
1.4. Analyses des données.....	42
2. Résultats.....	43
2.1. Saisonnalité du THI.....	43
2.2. Effet du stress thermique sur les paramètres séminologiques des taureaux de races allaitantes.....	45
2.3. Effet du stress thermique sur les paramètres séminologiques des taureaux de races laitières.....	51
3. Discussion.....	57
CONCLUSION.....	62
AGREMENT SCIENTIFIQUE.....	63
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	64

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Mécanismes de thermorégulation visant à préserver un équilibre entre la thermolyse et la thermogenèse afin que l'animal puisse maintenir sa température corporelle dans la zone de thermoneutralité.....	17
Figure 2 : Vue caudale du testicule gauche (à gauche) et photo du testicule de taureau, illustrant les mécanismes de thermorégulation testiculaire. Sources : Robert Barone, Anatomie comparée des mammifères domestiques, Paris, France, Vigot Frères, 1965. Pathologie de la reproduction, ENVT.	18
Figure 3 : index THI (Burgos-Zimbelman et Collier, 2011)	20
Figure 4- Situation géographique des deux centres de collecte de semence à Soual, dans le Tarn – Source : cartesfrance.fr.....	35
Figure 5 : Nombre d'éjaculats récoltés entre janvier 2002 et juillet 2012, par classe d'âge, pour les taureaux de race laitière Brune et Prim'Holstein sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.....	38
Figure 6 : Nombre d'éjaculats collectés par an et par classe d'âge, pour les taureaux de race laitière Brune et Prim'Holstein sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.	39
Figure 7 : Nombre d'éjaculats récoltés entre janvier 2002 et juillet 2012, par classe d'âge, pour les taureaux de races allaitantes, Limousins, Charolais, Blond d'Aquitaine et INRA 95 sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.....	39
Figure 8 : Nombre d'éjaculats récoltés en fonction du délai entre deux collectes successives pour les taureaux de races laitières de moins de 15 mois et les taureaux de races allaitantes de moins de 24 mois, sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.....	40
Figure 9 : Nombre d'éjaculats collectés en fonction du délai entre deux collectes successives pour les taureaux de races laitières de 15 à 30 mois et les taureaux de races allaitantes de 24 à 36 mois, sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.	41
Figure 10 : Nombre d'éjaculats collectés en fonction du délai entre deux collectes successives pour les taureaux de races laitières de plus de 30 mois (échelle de droite) et les taureaux de races allaitantes de plus de 36 mois, sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.....	41
Figure 11 : Décomposition des moyennes des index température-humidité (THI) mensuels, effet saisonnier [seasonal], tendance [trend] et résidus [remainder], sur la commune de Soual, de janvier 2002 à juillet 2012.	43
Figure 12 : Représentation graphique de l'autocorrélation et de l'autocorrélation partielle des THI. Le THI d'un mois donné est corrélé avec celui des quatre mois précédents.....	44
Figure 13 : Autocorrélation et autocorrélation partielle des résidus de la décomposition du THI.....	44

Figure 14: Nombre de spermatozoïdes par éjaculat en fonction du THI chez une population de 116 taureaux de race allaitante de 24 à 36 mois, élevés sur le site du Tournal, sur la période de e 2002 et 2012.....	47
Figure 15 : Evolution du nombre de spermatozoïdes par éjaculat en fonction du THI pour 34 taureaux de race INRA 95 (à gauche) et 32 Charolais (à droite), élevés sur le site du Tournal, sur la période de 2002 et 2012.....	47
Figure 16 : Evolution du pourcentage de spermatozoïdes mobiles en fonction du THI pour 16 914 éjaculats collectés sur une population de 146 taureaux de races allaitantes de plus de 36 mois, au site du Tournal, sur la période de 2002 à 2012.	48
Figure 17 : Evolution du pourcentage de spermatozoïdes mobiles par éjaculat en fonction du THI pour des éjaculats collectés sur 19 taureaux de race Charolais (en haut à gauche), 65 Blond 'Aquitaine (en bas à gauche) et 22 INRA 95 (en bas à droite), âgés de plus de 36 mois et hébergés sur le site du Tournal, sur la période de 2002 à 2012.	49
Figure 18 : Evolution du nombre de doses produites par éjaculat en fonction du THI chez une population de 116 taureaux de races allaitantes de 24 à 36 mois, élevés au site du Tournal, sur la période de 2002 à 2012.....	50
Figure 19 : Evolution du nombre de doses produites par éjaculat en fonction du THI, pour 23 taureaux de race Charolais, de 24 à 36 mois, collectés sur le site du Tournal de 2002 à 2012.	50
Figure 20 : Evolution du nombre de spermatozoïdes par éjaculat en fonction du THI, pour des taureaux de moins de 15 mois collectés au site des Nauzes.	53
Figure 21 : Evolution du volume d'éjaculat en fonction du THI pour les taureaux élevés sur le site des Nauzes.	53
Figure 22 : Concentration en spermatozoïdes des éjaculats récoltés sur la période de 2002 à 2012, en fonction du THI, pour les 109 taureaux de race laitière Brune et Prim'Holstein de plus de 30 mois.....	54
Figure 23 : Pourcentage de spermatozoïdes mobiles dans les éjaculats récoltés sur la période de 2002 à 2012 en fonction du THI, pour les 536 taureaux de race Prim'Holstein de moins de 15 mois (site des Nauzes).	55
Figure 24 : Evolution du nombre de doses produites par éjaculat en fonction du THI pour les 277 taureaux de 15 à 30 mois élevés sur le site des Nauzes, sur la période de 2002 à 2012..	56
Tableau 1 : Effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques de taureaux de races laitières (en haut) et allaitantes (en bas) et de zébus exposés à un réchauffement provoqué du scrotum pendant une durée de 8h à 5 jours.....	23
Tableau 2 : Effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques et la libido de taureaux de races laitières (tableau2A) et allaitantes (tableau 2B), zébus et buffles (tableau 2C) exposés aux saisons chaudes ou à une augmentation de la température et/ou de l'humidité ambiante.....	26

Tableau 3 : Nombre d'éjaculats de taureaux de races allaitantes collectés par site et par classe d'âge.....	45
Tableau 4 : Nombre de taureaux et de collectes par classe d'âge et par race, au site du Tournal.....	45
Tableau 5 : Paramètres séminologiques (moyennes \pm SD, médiane, min et max) des 225 taureaux de races allaitantes, par classe d'âge.	46
Tableau 6 : Nombre de taureaux de races laitières et de collectes par classe d'âge et par site. Seules les données en gras ont été conservées pour l'analyse des résultats.....	51
Tableau 7 : nombre de taureaux de races laitières et d'éjaculats collectés par race et par site..	51
Tableau 8 : Paramètres séminologiques (moyennes \pm SD et rang) (concentration en spermatozoïdes, volume, nombre de spermatozoïdes par éjaculat, pourcentage de spermatozoïdes mobiles) des XX taureaux de races laitières, par classe d'âge.	52

LISTE DES ABBREVIATIONS

bpm : nombre de battements par minute

IA : insémination animale

ET : écart-type

THI : temperature-humidity index (Index température-humidité)

T : température

HR : humidité relative

INTRODUCTION

Qu'il s'agisse des taureaux des centres de collecte de semence ou des taureaux d'élevage destinés à la monte naturelle, la fertilité mâle a un impact important sur les résultats de reproduction des troupeaux. Des études récentes (Flowers, 2013 ; Kastelic, 2013) ont en effet montré que l'origine de l'infertilité en élevage bovin allaitant pouvait être attribuée à l'infertilité des femelles, mais également à celle du mâle. Un taureau mature sexuellement est généralement utilisé en monte naturelle pour la mise à la reproduction d'environ quarante vaches. En insémination animale (IA), un éjaculat de taureau peut permettre l'insémination de plusieurs centaines de femelles, ce qui signifie qu'un trouble de la fertilité d'un taureau d'insémination peut avoir des conséquences importantes en élevage.

L'insémination animale bovine s'est développée en France dans les années cinquante et est aujourd'hui largement répandue en élevage bovin laitier. En 2015, les pourcentages de femelles inséminées étaient de 75% et de 18%, respectivement en élevage laitier et allaitant. Ainsi, le nombre d'IA réalisées chez les femelles laitières était en 2015 de presque 5,6 millions pour 3,6 millions de vaches et ce chiffre s'élevait à 1,36 million pour 3,6 millions de vaches allaitantes (*Institut de l'élevage*, 2015).

Compte tenu de la diffusion importante de la semence à partir d'un taureau d'insémination, il est important de prendre en considération tous les facteurs pouvant influencer la production et la qualité de semence. Dans les centres d'insémination, la collecte des taureaux est généralement bien maîtrisée, et leur statut sanitaire est contrôlé. La production de sperme peut varier en fonction de facteurs individuels (âge, race, maladie...), du rythme de collecte. Elle est également influencée par des facteurs sanitaires, nutritionnels et environnementaux en particulier le stress, la photopériode et des facteurs météorologiques, comme la température et l'humidité relative.

De nombreuses publications, en Amérique du Nord, ou dans les pays subtropicaux, rapportent des effets variables de la saison et de l'index Température humidité relative (défini ci-dessous) sur la qualité de semence de taureaux, mais il existe peu de données en France sur l'effet du stress thermique sur la qualité de la semence des taureaux. Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, notre étude vise à examiner les effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques des taureaux de races laitières et allaitantes de deux centres de collecte de semence, situés à Soual, dans le Tarn, région caractérisée par un climat tempéré, avec des hivers doux et des étés chauds et secs.

Dans une première partie bibliographique, nous rappellerons le mécanisme de la spermatogenèse et de la thermorégulation puis nous ferons une synthèse des connaissances actuelles sur les effets du stress thermique sur la fertilité des ruminants mâles.

Dans une seconde partie expérimentale, nous présenterons les matériels et les méthodes de notre étude. Nos résultats seront ensuite exposés et discutés.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Quelques éléments de physiologie de la reproduction mâle

Chez les taureaux, les testicules sont pendulaires, à axe vertical, et la descente des testicules dans leur enveloppe s'effectue avant la naissance, vers 3-4 mois de gestation (Rahman et al. 2011; Kastelic 2013 ; Chenoweth, 1979). Les deux testicules, et l'épididyme, sont entourés de fascias et d'une tunique vaginale, et protégés par le scrotum.

La fonction testiculaire est double : une fonction exocrine avec la production de spermatozoïdes (spermatogenèse) et une fonction endocrine avec la synthèse des hormones mâles, notamment la testostérone.

Cette fonction testiculaire est sous contrôle de l'axe hypothalamo-hypophysaire. La LH stimule la multiplication des cellules de Leydig et la sécrétion de testostérone. La FSH et la testostérone permettent le développement des cellules de Sertoli et la spermatogenèse.

Au cours de la spermatogenèse, les spermatogonies migrent de manière centripète en se divisant, au sein des tubes séminifères et se différencient. Les spermatozoïdes alors formés sont libérés dans la lumière de ces tubes, puis sont transportés vers les tubes droits, rejoignant le rete testis, les canaux efférents et l'épididyme. A la sortie du testicule, les spermatozoïdes ne sont pas matures, ils ne sont ni mobiles, ni féconds. C'est au cours du transit épидидymaire que se déroule leur maturation. A l'issue de cette étape, les spermatozoïdes sont expulsés par les contractions de la musculature de l'épididyme dans le conduit déférent, au cours de la phase préliminaire de l'éjaculation, puis dans l'urètre.

La durée de la spermatogenèse chez le taureau est d'environ 54 jours, et le transit épидидymaire est de 8 jours (Dadoune, Demoulin, 1991 ; Hochereau, 1964 ; Hanzen, 2009) Ainsi, les spermatozoïdes retrouvés dans l'éjaculat ont donc été produits dans les testicules environ deux mois plus tôt.

La spermatogenèse se déroule dans les testicules à une température optimale de 35°C, inférieure de 3°C environ à celle du corps et les mécanismes de thermorégulation (cf infra) sont essentiels pour maintenir cette température testiculaire, quelles que soient les conditions climatiques.

Dans les centres d'insémination, la pression génétique, notamment en race Prim'Holstein, est telle que les jeunes mâles sont collectés le plus précocement possible, dès l'acquisition de la puberté. La puberté correspond à l'ensemble des transformations physiologiques et histologiques aboutissant à l'acquisition des caractères sexuels secondaires et de la fonction de reproduction (production spermatique, libido, érection du pénis) (Dumont, 1997). La définition la plus communément admise de la puberté est l'âge auquel on obtient le premier éjaculat contenant au moins 50 millions de spermatozoïdes avec une motilité minimale de 10% (Wolf et coll. 1965). L'âge à la puberté varie entre 37 et 50 semaines en fonction des races. Pour les races européennes, elle est atteinte en général plus précocement chez les races laitières que chez les races bouchères (Lunstra et al, 1978 ; Amann 1983 ; Evans et al, 1995, Coulter 1986, Killian et Amann 1972). Une fois acquise la puberté, l'efficacité de la production de spermatozoïdes ne serait suffisante (motilité individuelle $\geq 50\%$ et un pourcentage de spermatozoïdes normaux $\geq 70\%$) qu'environ 50 jours plus tard (de 0-158 jours, Brito et al 2012). L'augmentation de la production spermatique augmente ensuite

avec le poids du testicule, jusqu'à la maturité sexuelle, aux alentours de 3 ans (Coulter et al, 1975, Weisgold et Almquist 1979).

2. Production des paillettes et évaluation des paramètres séminologiques dans les centres de collecte bovins

2.1. Récolte du sperme au vagin artificiel (Gerard, Khireddine 2002)

La récolte de sperme dans les centres de collecte est effectuée au vagin artificiel, selon une procédure très standardisée, dans des conditions sanitaires très strictes.

Le principe du vagin artificiel est de reproduire l'ensemble des sensations présentées par les voies génitales femelles lors du coït (chaleur, pression, lubrification) et de recueillir rapidement un éjaculat complet et non souillé (Dumont, 1997).

Avant chaque utilisation, les vagins artificiels sont maintenus dans une étuve à une température de 45°C. L'eau présente dans la double paroi du vagin permet de maintenir une certaine pression et une température d'environ 42°C lors de la collecte. Les vagins sont sortis de l'étuve au dernier moment, lorsque le préleveur estime que le taureau est suffisamment préparé. La pression au niveau de la capote interne du vagin artificiel peut être modulée en fonction du taureau par insufflation d'air. L'intérieur du vagin est lubrifié avec de la vaseline ou un gel gynécologique.

Avant la collecte, les taureaux sont amenés dans la salle de monte. Leur libido est stimulée lors de l'attente, par voyeurisme et par le conditionnement lié à la reconnaissance des bruits et des odeurs de la salle de monte. La préparation active des taureaux consiste à promener le taureau et à l'amener au contact des boutes en train. Lorsque le taureau présente des signes d'excitation (érection, flehmen, émission de sécrétions pré-spermatiques...), le taureau effectue environ deux fausses montes avant la récolte du sperme au vagin artificiel.

Pour la collecte de sperme, le bouvier laisse le taureau monter sur le bote en train. Le préleveur s'accroche au taureau et dévie son pénis en érection dans le vagin artificiel en le saisissant à travers le fourreau. Ce simple contact suffit en général à déclencher le saut et l'éjaculation qui ne dure que quelques secondes (Dumont 1997; Gerard, Khireddine 2002).

2.2. Examen séminologique

L'examen séminologique comprend un examen macroscopique et un examen microscopique. Il permet d'évaluer la qualité de la semence afin de déterminer si celle-ci pourra être conservée et utilisée pour l'insémination artificielle. Il est réalisé immédiatement après la récolte. L'éjaculat est maintenu à 37°C durant toutes ces étapes, et jusqu'à sa dilution, avant la mise en paillettes.

Le volume est mesuré immédiatement après l'éjaculation par lecture directe sur le tube de prélèvement gradué. Le volume de l'éjaculat de taureau est en moyenne de 5 mL, mais peut varier de 3 à 8 mL. Il est plus faible chez les taureaux jeunes ou collectés fréquemment.

La couleur et la viscosité de l'éjaculat sont évaluées par simple observation dans le tube de collecte ; un sperme normal est de couleur blanchâtre à blanc-jaunâtre et de consistance

laiteuse à crémeuse. Cette observation permet de détecter certaines anomalies, comme la présence de sang ou de pus, par exemple.

La motilité massale est évaluée à 37°C dans les dix minutes après l'éjaculation. Une goutte de sperme non dilué est déposée sur une lame puis observée au microscope optique. L'intensité des vagues provoquées par le déplacement des spermatozoïdes est évaluée et notée de 0 à 5 :

- Note 0 : absence de mouvement des spermatozoïdes
- Note 1 : léger mouvement perceptible, pas de vague
- Note 2 : vagues peu nombreuses
- Note 3 : vagues nombreuses
- Note 4 : vagues rapides et intenses
- Note 5 : tourbillons très rapides

Un sperme dont la motilité massale est inférieure ou égale à 3 est généralement éliminé.

La motilité individuelle est mesurée sur du sperme dilué, généralement au 40^{ème}, au microscope au grossissement 200 entre lame et lamelle. Elle correspond à la proportion de spermatozoïdes avec un mouvement rectiligne qui traversent le champ du microscope. Les spermatozoïdes avec des mouvements sur place, ou des déplacements en cercles ou en arrière ne sont pas considérés comme mobiles. Cette lecture est réalisée avant congélation de la semence et après décongélation des paillettes. La motilité individuelle moyenne d'un éjaculat varie de 40 à 80%.

Un éjaculat dont la motilité individuelle est inférieure à 50 % est généralement éliminé.

La concentration (en milliards de spermatozoïdes par millilitre) est mesurée à l'aide d'un spectrophotomètre étalonné, sur du sperme dilué (40 µL de sperme dans 960 µL de sérum physiologique). La concentration moyenne en spermatozoïdes d'un éjaculat de taureau est de 1 milliard/mL, mais peut varier de 0,3 à 3 milliards/mL. On compte en moyenne 5 à 15 milliards de spermatozoïdes par éjaculat. Les éjaculats présentant une concentration inférieure à 0,5 milliard de spermatozoïdes/mL sont éliminés.

Les anomalies morphologiques des spermatozoïdes peuvent être évaluées après coloration à l'éosine-nigrosine et comptage au microscope ou à l'aide d'analyseurs automatiques. Le pourcentage de spermatozoïdes anormaux est en moyenne de 6.5 à 9.5%. Ces anomalies ne sont pas recherchées en routine dans les centres de collecte.

2.3. Traitement des éjaculats

L'éjaculat est dilué avec un dilueur à base de jaune d'œuf (Optidyl ND, IMV Technologies, L'Aigle, France) à 35°C, de façon à obtenir des paillettes contenant 20 millions de spermatozoïdes dans 0.225mL.

Après dilution, les éjaculats sont conservés à 4°C au moins 2 h pour l'équilibration du cryoprotecteur avant d'être mis en paillette puis congelés. La congélation se déroule en deux étapes : descente en température, de 4 à -140°C en 8 minutes puis plongée des paillettes à -196°C dans l'azote liquide. Après la congélation, deux paillettes prises au hasard sont décongelées par immersion dans un bain marie à 37°C pendant 30 secondes et le pourcentage de spermatozoïdes mobiles est évalué.

Un contrôle qualité mensuel est également réalisé sur la production du mois : la qualité séminologique (nombre de spermatozoïdes par paillette) est contrôlée sur dix éjaculats et un contrôle bactériologique est réalisé sur 5 éjaculats, pour évaluer les conditions d'hygiène de la collecte et du traitement de la semence.

3. La thermorégulation (pour revue, Collier et al., 2015)

La thermorégulation est un processus nerveux connectant des informations environnementales à une réponse efférente appropriée comme la vasoconstriction, l'érection pileaire, le halètement, ... qui permet aux animaux de maintenir leur homéostasie malgré les variations des conditions environnementales externes.

Un animal produit de la chaleur (thermogenèse) et en libère (thermolyse, Figure 1). L'enjeu des échanges de chaleur avec l'environnement est de maintenir un équilibre entre ces deux phénomènes afin de garder une température corporelle dans la zone de thermoneutralité de l'espèce, 38,5°C, chez les bovins.

La thermogenèse résulte de différents processus de base pour l'entretien mais aussi de différents mécanismes physiologiques, comme l'activité physique. Pour réduire sa thermogenèse, un animal peut réduire sa prise de nourriture et se mettre au repos. En ce qui concerne les taureaux d'élevage ou de centre de collecte de semence, l'effort physique associé à la saillie est peu important, sauf en monte naturelle, si l'espace occupé par les femelles est étendu, comme en estive par exemple.

La thermolyse est la somme des pertes par voie latente (évaporation par sueur ou polypnée) et par voie sensible (par radiation, convection et conduction). L'augmentation de la thermolyse est induite par différents mécanismes, la tachycardie, la consommation d'eau, la vasodilatation des vaisseaux périphériques, la concentration urinaire, la sudation, la polypnée. Ces deux derniers mécanismes étant les plus impliqués dans la thermorégulation chez les bovins.

La sudation et le halètement sont deux réponses automatiques et primaires utilisées par les animaux face à un stress thermique. Ces mécanismes dépendent plus de la température de la peau que de la température corporelle. Les pertes de chaleur par voie cutanée sont régulées par le gradient d'humidité entre la peau et l'air ambiant. L'animal perd de la chaleur par évaporation au niveau de sa peau. A des températures entre 10 et 20°C, l'évaporation cutanée représente 20 à 30% de la perte totale de chaleur alors que lorsque la température ambiante est supérieure à 30°C, ce mécanisme représente environ 85% de cette perte, le reste étant assuré par le halètement. Cette évaporation cutanée dépend de la vitesse de l'air, de la température ambiante, de l'humidité relative, et des radiations solaires et thermiques mais aussi de l'état de propreté des poils, de leur densité, de leur couleur, de la taille et de l'activité des glandes sudoripares, ... Ces facteurs expliquent les différences interindividuelles et interraciales importantes de résistance au stress thermique observées. Ainsi, Hillman et al. rapportent que des vaches pie noires, comme celles de race Prim'Holstein, exposées à la lumière directe du soleil, subiraient une augmentation de température de surface de 4,8°C, contre 0,7°C pour une vache dont la robe est blanche.

Le halètement constitue un mécanisme volontaire, qui entraîne une augmentation de la fréquence respiratoire et une diminution du volume courant (volume d'air inspiré ou expiré à chaque mouvement respiratoire), ce qui favorise la ventilation des voies respiratoires supérieures et de ce fait, les pertes de chaleur par évaporation, tout en préservant la ventilation alvéolaire. La perte d'énergie s'explique par le réchauffement de l'air expiré et la dissipation de la chaleur sous forme de vapeur d'eau dans la cavité buccale. Cette hyperventilation entraîne une augmentation de l'élimination du CO₂ par les poumons, se traduisant par une augmentation du pH sanguin, et une alcalose respiratoire. Cette dernière peut avoir des répercussions importantes sur la santé de l'animal.

En ce qui concerne les pertes de chaleur par voie cutanée, la conduction nécessite le contact direct entre deux surfaces, le transfert de chaleur se faisant de la surface la plus chaude vers la plus froide. Les bovins préférant la position debout, le contact avec le sol est réduit. Par ailleurs, une position couchée diminue les surfaces disponibles pour l'évaporation.

La perte par convection est possible grâce aux mouvements de l'air sur la surface corporelle de l'animal. Ce mécanisme est régulé par le gradient de température entre le corps de l'animal et l'air ambiant. La convection peut être induite naturellement ou forcée, par des systèmes mécaniques (ventilateurs, ...).

La radiation est un phénomène d'échange entre deux surfaces émettant chacune de l'énergie à des longueurs d'onde dépendant de la température de la surface, comme par exemple le soleil, le ciel, le sol, les murs et plafonds des bâtiments, ...

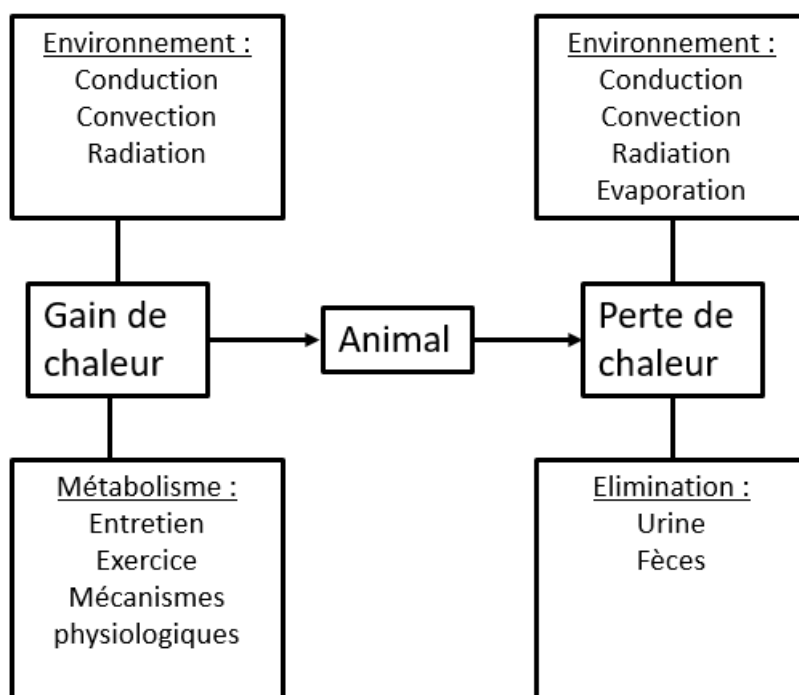


Figure 15 : Mécanismes de thermorégulation visant à préserver un équilibre entre la thermolyse et la thermogenèse afin que l'animal puisse maintenir sa température corporelle dans la zone de thermoneutralité.

Cas particulier du testicule

Chez la plupart des mammifères comme chez le taureau, la régulation de la température testiculaire est essentielle au bon déroulement de la spermatogenèse. Les testicules sont suspendus dans le scrotum pendulaire ce qui leur permet de maintenir une température testiculaire, 4 à 5°C en-dessous de leur température corporelle (Rahman et al. 2011 ; Kastelic 2013).

Différentes caractéristiques anatomiques permettent de contrôler la température testiculaire (figure 2) :

- Les muscles dartos et crémaster se relâchent quand la température ambiante augmente, éloignant ainsi les testicules du corps.
- Le système d'échange de chaleur à contre-courant dans le cône vasculaire du cordon spermatique : le sang de l'artère testiculaire est refroidi par des échanges à contre-courant avec les veines testiculaires, qui forment un plexus pampiniforme entourant l'artère (figure 2).
- L'absence de tissu adipeux
- Des glandes sudoripares abondantes sécrètent un sébum qui contribue aux pertes de chaleur par évaporation d'eau.

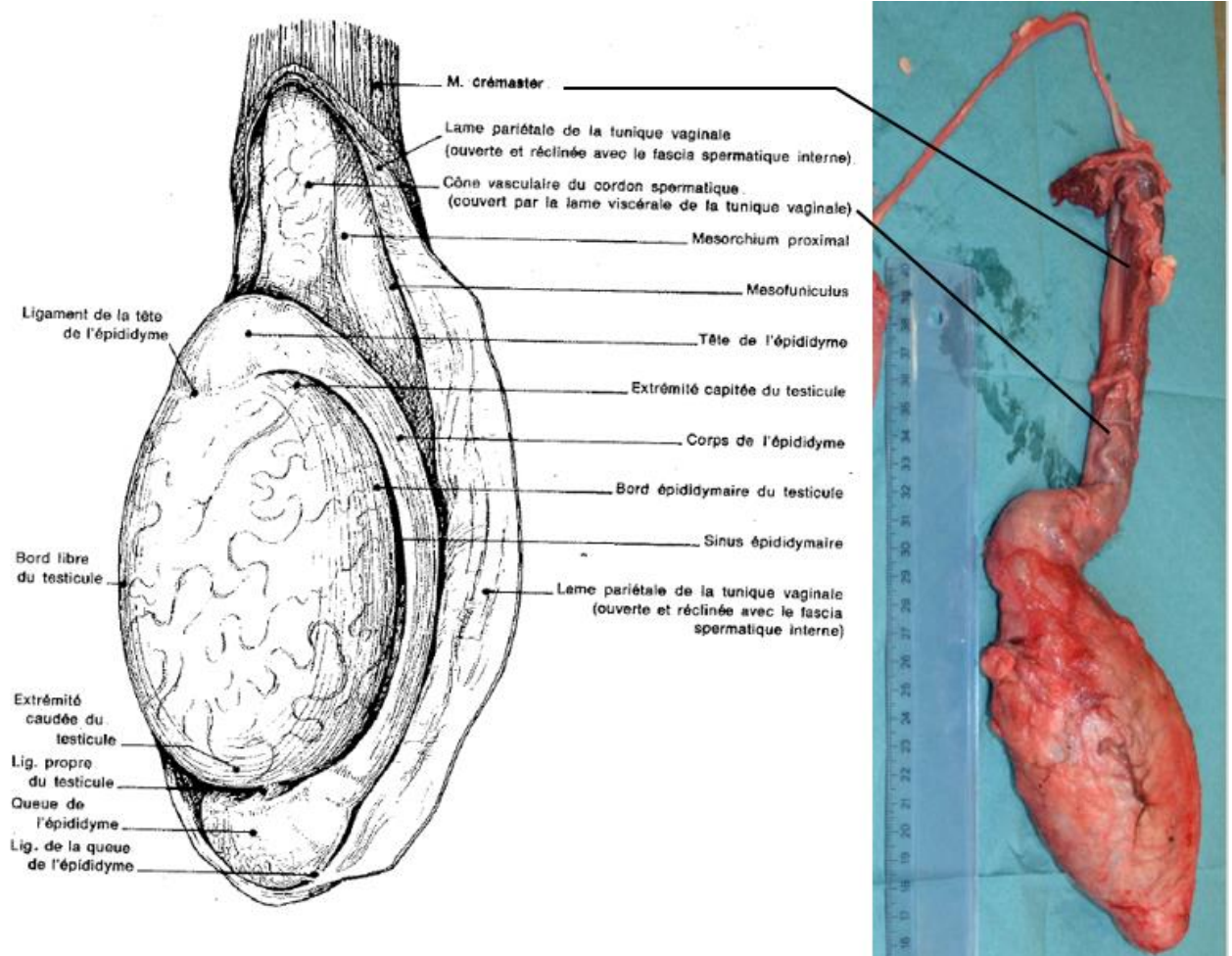


Figure 16 : Vue caudale du testicule gauche (à gauche) et photo du testicule de taureau, illustrant les mécanismes de thermorégulation testiculaire. Sources : Robert Barone, Anatomie comparée des mammifères domestiques, Paris, France, Vigot Frères, 1965. Pathologie de la reproduction, ENVT.

Les mécanismes de thermorégulation testiculaire peuvent varier en fonction des races. L'efficacité de la thermorégulation dépend de la longueur et du volume de l'artère testiculaire et de la distance entre l'artère et les veines testiculaires dans le plexus pampiniforme. Ainsi, les zébus sont plus résistants à l'augmentation de température ambiante que les taureaux ou les mâles croisés taureaux-zébus (Brito, 2004), en raison de l'enchevêtrement entre l'artère et les veines testiculaires et de la longueur et du volume des artères testiculaires plus importants.

4. Les effets du stress thermique

L'index généralement utilisé pour évaluer l'impact du stress thermique prend en compte la Température et l'Humidité relative. Cet index température-humidité relative (THI) est calculé selon la formule suivante (Kendall, Webster, 2009) :






$THI=(1.8T+32)-((0.55-0.0055H)\times(1.8T-26))$ avec T, la température ambiante en °Celsius et H l'humidité relative en %.

Cet index permet d'établir une classification du stress thermique en fonction de ses conséquences sur la santé, le bien-être et la production en élevage bovin.

Les seuils des THI ont été récemment évalués pour les vaches laitières, il prend en compte les modifications de température corporelle, de fréquence respiratoire et de production laitière :

Température °C	Humidité relative (%)																
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
22	65.6	66.0	66.4	66.7	67.1	67.5	67.9	68.2	68.6	69.0	69.4	69.7	70.1	70.5	70.9	71.2	71.6
23	66.6	67.0	67.5	67.9	68.3	68.7	69.2	69.6	70.0	70.4	70.9	71.3	71.7	72.1	72.6	73.0	73.4
24	67.6	68.1	68.6	69.1	69.5	70.0	70.5	70.9	71.4	71.9	72.4	72.8	73.3	73.8	74.3	74.7	75.2
25	68.6	69.2	69.7	70.2	70.7	71.3	71.8	72.3	72.8	73.3	73.9	74.4	74.9	75.4	76.0	76.5	77.0
26	69.6	70.2	70.8	71.4	71.9	72.5	73.1	73.7	74.2	74.8	75.4	75.9	76.5	77.1	77.7	78.2	78.8
27	70.7	71.3	71.9	72.5	73.1	73.8	74.4	75.0	75.6	76.2	76.9	77.5	78.1	78.7	79.4	80.0	80.6
28	71.7	72.3	73.0	73.7	74.3	75.0	75.7	76.4	77.0	77.7	78.4	79.0	79.7	80.4	81.1	81.7	82.4
29	72.7	73.4	74.1	74.8	75.6	76.3	77.0	77.7	78.4	79.2	79.9	80.6	81.3	82.0	82.8	83.5	84.2
30	73.7	74.5	75.2	76.0	76.8	77.5	78.3	79.1	79.8	80.6	81.4	82.2	82.9	83.7	84.5	85.2	86.0
31	74.7	75.5	76.3	77.1	78.0	78.8	79.6	80.4	81.2	82.1	82.9	83.7	84.5	85.3	86.2	87.0	87.8
32	75.7	76.6	77.4	78.3	79.2	80.0	80.9	81.8	82.6	83.5	84.4	85.3	86.1	87.0	87.9	88.7	89.6
33	76.7	77.6	78.5	79.5	80.4	81.3	82.2	83.1	84.1	85.0	85.9	86.8	87.7	88.6	89.6	90.5	91.4
34	77.7	78.7	79.6	80.6	81.6	82.6	83.5	84.5	85.5	86.4	87.4	88.4	89.3	90.3	91.3	92.2	93.2
35	78.7	79.7	80.8	81.8	82.8	83.8	84.8	85.8	86.9	87.9	88.9	89.9	90.9	91.9	93.0	94.0	95.0
36	79.7	80.8	81.9	82.9	84.0	85.1	86.1	87.2	88.3	89.3	90.4	91.5	92.5	93.6	94.7	95.7	96.8
37	80.7	81.9	83.0	84.1	85.2	86.3	87.4	88.6	89.7	90.8	91.9	93.0	94.1	95.3	96.4	97.5	98.6
38	81.7	82.9	84.1	85.2	86.4	87.6	88.7	89.9	91.1	92.2	93.4	94.6	95.7	96.9	98.1	99.2	100.4
39	82.8	84.0	85.2	86.4	87.6	88.8	90.0	91.3	92.5	93.7	94.9	96.1	97.3	98.6	99.8	101.0	102.2
40	83.8	85.0	86.3	87.6	88.8	90.1	91.4	92.6	93.9	95.1	96.4	97.7	98.9	100.2	101.5	102.7	104.0
41	84.8	86.1	87.4	88.7	90.0	91.3	92.7	94.0	95.3	96.6	97.9	99.2	100.5	101.9	103.2	104.5	105.8
42	85.8	87.1	88.5	89.9	91.2	92.6	94.0	95.3	96.7	98.1	99.4	100.8	102.1	103.5	104.9	106.2	107.6

Figure 17 : index THI (Burgos-Zimbelman et Collier, 2011)

-  Stress thermique très léger : THI>68 ; température rectale > 38,5°C.
-  Stress thermique léger : THI>72 ; température rectale > 39°C
-  Stress thermique modéré : THI> 80 ; température rectale > 40°C
-  Stress thermique sévère : THI>90 ; température rectale > 41°C ; diminution de 20 % de la production laitière
-  Stress thermique très sévère : THI>98 ; mort

Dans la plupart des situations, lors d'augmentation de la température ambiante, les animaux mettent en jeu des adaptations physiologiques leur permettant de maintenir leur homéostasie, ils se nourrissent moins et diminuent leur activité physique pendant les heures les plus chaudes. Cependant, lorsque les températures sont élevées et sur une durée importante, ces adaptations physiologiques peuvent avoir des répercussions sur la

production ou même sur la santé de l'animal. Ainsi, une étude conduite par un fabricant d'aliment du bétail dans cinq élevages laitiers français (niveau moyen de production de 9000 à 10000 kg de lait par vache et par an) a montré une diminution de la production laitière de 2,7 kg/vache/jour quand les vaches sont exposées à un stress thermique (Index Température Humidité Relative > 72) de 6 à 12 heures pendant la période estivale (Pezon, 2015). Par ailleurs, dans des conditions contrôlées, une augmentation de 23 à 35°C de la température ambiante pendant deux mois, a entraîné chez les taureaux Angus une augmentation significative de la fréquence respiratoire (de 29,9 à 54,2 bpm), de la température rectale (de 38,2 à 38,7°C) et de la consommation d'eau (de 17 à 27L d'eau/jour) (Meyerhoeffer, 1985).

Les effets du stress thermique sur la reproduction femelle ont été bien établis. Chez les vaches laitières, le stress thermique pourrait aggraver le déficit énergétique en postpartum. Une exposition des femelles au stress thermique entraîne une diminution de la qualité des ovocytes, et des dysfonctionnements des sécrétions endocrines et de l'environnement utérin. Il en résulte une expression des chaleurs plus fruste et de l'infertilité.

Mais qu'en est-il de l'effet du stress thermique sur la reproduction des mâles reproducteurs, dont les besoins de production sont faibles ?

4.1. Effets du stress thermique sur les hormones sexuelles

Les effets du stress thermique sur les sécrétions hormonales ne sont pas clairs.

Une faible augmentation des concentrations plasmatiques de testostérone a été observée au printemps chez des taureaux de race laitière et allaitante (Koivisto et al. 2009) et en été chez des buffles de race Murrah (Dixit et al. 1985).

A l'inverse, d'autres études montrent une légère diminution de la testostérone plasmatique après deux premières semaines de stress thermique en conditions contrôlées (34°C pendant 15 jours à des taux d'humidité relative variant de 26 à 34% ; Minton et al., 1981).

4.2. Effets du stress thermique sur la libido

Des études menées sur des buffles n'ont montré aucun effet du stress thermique sur la libido (Heuer et al. 1987 ; Koonjaenak et al. 2007).

Cependant, d'autres études montrent que le nombre de refus de saut, pouvant s'expliquer par une baisse de libido, augmente durant les mois estivaux pour des buffles de race Murrah (Dixit et al. 1985 ; Misra and Sengupta, 1965) et pour des zébus de race Sahiwan (Ahmad, Asmat, Rehman 2005). Une baisse de libido est également observée chez les taureaux de race Baoulé (Meyer, 2009).

4.3. Effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques

L'augmentation de la température testiculaire entraîne une altération de la qualité de la semence, essentiellement par hypoxie. En effet, l'élévation de la température testiculaire entraîne une augmentation du métabolisme et de la consommation d'oxygène par les cellules, dont les apports sanguins sont limités (Brito et al, 2004).

Chez le bélier, une diminution de 50% de la masse testiculaire est observée 21 jours après une exposition des testicules à 42°C pendant 45 minutes (Setchell et al. 1991; Hochereau-de Reviers et al. 1993). De la même façon, une exposition des béliers à des températures élevées (32°C) pendant 14 jours entraîne une réduction de la masse testiculaire d'environ 70 % (Gomes et al. 1971). Cette diminution du poids testiculaire (Setchell, 1998) est associée à une réduction du volume des tubes séminifères (Fields and al., 1979). Ce phénomène est réversible, mais le retour à la normale est progressif et peut prendre deux mois (Setchell, 1998).

Chez les rats, les béliers et les cochons d'Inde, une dégénérescence des spermatocytes au stade pachytène et des spermatides est observée rapidement après l'exposition à la chaleur (Setchell, 1998, Young, 1927). Par ailleurs, chez les béliers, une disparition des cellules spermatogéniques associée à un développement du tissu interstitiel dont le fonctionnement est altéré, est observée.

Différentes études ont évalué l'impact du stress thermique sur les paramètres séminologiques chez des taureaux de races laitières et de races à viande, des zébus et des buffles, dans différentes conditions expérimentales :

- (1) Après réchauffement local du scrotum (Tableau 1).
- (2) Dans des conditions d'ambiance contrôlées ou dans différentes conditions climatiques environnementales (climat tropical, tempéré, en fonction des saisons) (Tableaux 2).

Source	Condition du réchauffement scrotal	Nombre d'individus	Concentration	Nombre de spermatozoïdes	Motilité individuelle	Anomalies morphologiques	Nombre de doses produites	Résistance à la congélation
Races laitières								
Rahman et al. 2011	48h	3 Holstein 60-83 mois			↘ 17 j après le stress thermique	↗ Dès le stress thermique		
Januskaukas et al. 1995	8h, 33°C	3 Pie rouge de Suède 6-7 ans			∅	↗ 30 j après le stress thermique	∅	↘ 30 à 51 j après le stress thermique
Vogler et al. 1991	3h, 37°C	6 Holstein			↘ 15-18 j après le stress thermique	↗ 12 à 18 j après le stress thermique		

Races allaitantes								
Rahman et al. 2011	48h	3 blanc bleu belge 41-43 mois			↘ 17 j après le stress thermique	↗ Dès le stress thermique		
Zébus								
Brito et al. 2003	4 jours	12 zébus : 3 ans 21 zébus x Charolais : 2 ans	↘	↘	↘ 11 j après le stress thermique	↗ 11 j après le stress thermique		
Fernandes et al. 2008	5 jours	4 Zébus 30-36 mois			↘	↗ 14 j après le stress thermique		

Tableau 1 : Effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques de taureaux de races laitières (en haut) et allaitantes (en bas) et de zébus exposés à un réchauffement provoqué du scrotum pendant une durée de 8h à 5 jours.

Légende : ↗ augmentation du paramètre ; ↘ diminution du paramètre ; ∅ pas d'influence observée ; Case vide : paramètre non étudié ;

L'ensemble de ces études sur le réchauffement provoqué du scrotum pendant quelques jours ont montré que, quelle que soit la sous espèce, taureau ou zébu ou le type de production, une augmentation de la température testiculaire entraîne une diminution de la motilité et une augmentation des anomalies morphologiques des spermatozoïdes. Une chute de la concentration de l'éjaculat en spermatozoïdes et du nombre de spermatozoïdes dans l'éjaculat et une moindre résistance à la congélation ont également été mises en évidence. L'importance des altérations observées dépend de la température et de la durée du stress thermique. Elles dépendent également du stade de la spermatogenèse auquel se trouvent les cellules germinales exposées au stress thermique et du délai nécessaire pour que ces spermatozoïdes soient libérés dans la lumière des tubes séminifères et transportés au sein de l'épididyme. D'une façon générale, les effets du stress thermique sur la qualité séminologique sont observés deux semaines après son application (Johnston, Naelapaa, Frye 1963; Meyerhoeffler et al. 1985; Rahman et al. 2011) et se prolongent environ deux mois après (Meyerhoeffler et al. 1985; Koivisto et al. 2009). En effet, compte tenu de la durée de la spermatogenèse et de la maturation épидидymaire, une altération des spermatogonies à un instant t entraînera une diminution de la qualité de la semence récoltée environ 2 mois plus tard.

Les anomalies morphologiques apparaissent essentiellement 14 jours après le réchauffement local du scrotum (Fernandes et al. 2008) ou 30 jours après (Januskauskas et al. 1995), ce qui signifie que le stress thermique altère essentiellement la spermatogenèse et dans une moindre mesure la maturation épидидymaire.

Tableau 2A : Races laitières

Source	Pays/ conditio ns climatiq ues	Populati on	Volu me	Concentra tion	Nombre de spermatozo ïdes	Motilité individu elle et/ou massale	Anomalies morphologi ques	Volum e des testicu les	Nombr e de doses produi tes	Résistan ce à la congélat ion	Libi do	Comment aires
Diarra, 1997	Québec : climat contine ntal humide et tempéré	294 Holstein De 10 à 18 mois	↗	↘		↘						
Makulsk a et al. 1993	Allemag ne : climat contine ntal tempéré 10 ans d'étude	175 Holstein 200 Simment al	↗ ↗	↗ ↗	↗ ↗							
Fuerst- Waltl et al. 2006	Autriche : climat contine ntal	274 Simment al 2.5 à 3.5 ans	↘		↘	↘						
Snoj, 2013	Slovénie : zone tempéré e	233 Holstein 369 Bruns	↗ ↗		↗ ↗							

	Etude sur 31 ans											
Brito et al. 2002	Brésil : climat subtropical Etude selon T et HR ambiantes	21 Holstein 2 Simmental	∅ ∅	∅ ∅	∅ ∅		∅ ∅					Faible variation de T et RH entre les différents mois de l'année
Koivisto et al. 2009	Brésil climat subtropical	3 Simmental Adultes	∅			↘	↗			↘		
Salah et al. 1992	Arabie saoudite : climat désertique	8 Holstein 4 à 6 ans					↗					
Everett, 1978	USA (NY) : climat continental modéré	55 Holstein Adultes		↗	↗							
Mathevon, 1998	Canada : climat continental	61 Holstein 137<30 mois 4 à 6 ans	∅	↘	↘	↗ (jeunes) ∅ (adultes)						
Taylor et	USA	2351	↘	↘								Très peu

al. 1985	(NY) : climat contine ntal modéré Etude sur 31 ans	Holstein										d'effet observé
Ghasemi, Ghorbani 2014	Iran Etude sur 17 ans	83 Holstein		↘	↘	↘				↘		
Erb, 1942	USA (Ind.) : climat contine ntal modéré	4 Holstein 1 à 7 ans 2 Jersey 2 Guernes ey 1 Ayrshire		↘		↘	↗					
				↘		↘	↗					
				↘		↘	↗					
Johnston , 1963	USA (La.) : climat contine ntal modéré	2 Holstein 3 ans 2 Holstein x Zébu		↘	↘	↘	↗					
				↘	↘	↘	↗					
Nichi et al. 2006	Brésil : climat subtropi cal	16 Simment al 3 à 4 ans					↗			↘		

Igna et al. 2010	Roumanie : climat continental	5 Simmental 5 à 8 ans	↘	↘								
Stälhammar, 1989	Suède Eté doux	213 Holstein et Pie rouge de Suède 11 mois à 3 ans	↗		↗	↗			↗	↗	↗	

Tableau 2B : Races allaitantes

Source	Pays Condi tions	Populat ion	Volu me	Concentra tion	Nombre de spermatoz oïdes	Motilité individu elle et/ou massale	Anomalies morphologi ques	Volum e des testicu les	Nombr e de doses produi tes	Résistan ce à la congélat ion	Libi do	Comment aires
Snoj, 2013	Slovénie Etude sur 31 ans	52 Limousi ns 40 Charolai s	↗ ↗		↗ ↗							
Fields, 1979	USA : climat subtropi cal	77 Angus 90 Herefor d 27 Santa Gertrud is (croisé avec Zébus) 1 an	∅ ∅ ∅	↘ ↘ ↘	↘ ↘ ↘	↘ ↘ ↘		↘ ↘ ↘				
Meyerhoe ffer et al. 1985	USA (Okla.) Pièces chauffée s (35°C 8h/j,	16 Angus 1 an	∅			↘	↗					Augmenta tion : fréquence respiratoir e, températu

	31°C 16h/j) 8 sem											re rectale, consomma tion d'eau
Brito et al. 2002	Brésil : climat subtropi cal. Effet T et HR	3 Angus 1 Limousi n	∅ ∅	∅ ∅	∅ ∅		∅ ∅					Faibles variations de T et RH
Teixeira et al. 2011	Brésil : climat subtropi cal	3 Curralei ro 3 à 6 ans								∅		
Koivisto et al. 2009		3 Limousi ns Adultes	∅			↘	↗			↘		

Tableau 2C : Zébus/buffles

Source	Pays Condi- tions	Populat- ion	Volu- me	Concentra- tion	Nombre de spermatozo- ïdes	Motilité individu- elle et/ou massale	Anomalies morphologi- ques	Volum- e des testicu- les	Nombr- e de doses produit- es	Résistan- ce à la congélat- ion	Libi- do	Comment- aires
	USA (Fla.) : climat subtropi- cal	24 zébus 1 an	∅	↘	↘	↘		↘				
Brito et al. 2002	Brésil : climat subtropi- cal. Effet T et HR	28 zebus	∅	∅	∅		∅					Faible variation de T et RH
Koivisto et al. 2009	Brésil : climat subtropi- cal	5 zébus Adultes	∅			↘	↗			↘		
		11 zébus 3 à 4 ans					↗					
Ahmad, 2003	Pakistan : climat subtropi- cal humide et chaud	21 zébus (<3ans, 3 à 5 ans et >5ans)	↘			↘			↗ (au printem- ps)			
Bhakat et al.	Inde : climat	Zébus	↗	↘		↘				↘		

2011	tempéré et humide											
Bhakat et al. 2015		8 buffles 30 à 58 mois	∅	↘	∅	↘	↗					
Igboeli, 1971		Zébus	↗		↘	∅	↗					
Tuli, 1983		7 buffles								↘		
Ritesh Tiwari et al. 2011		9 buffles	∅	↗						↘		
Dixit et al. 1985		15 buffles	∅	∅	∅						↘	
Heuer, 1987	Pakistan : climat subtropi cal	10 buffles	∅		↗				↘	↘	∅	
Younis et al. 1998		18 buffles					↗			↘		
Sagdeo, 1991		Buffles								↘		
Koonjae nak et al. 2007	Thailand e : climat tropical	5 buffles	∅	∅	∅	↘				↘	∅	

Tableau 2 : Effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques et la libido de taureaux de races laitières (tableau2A) et allaitantes (tableau 2B), zébus et buffles (tableau 2C) exposés aux saisons chaudes ou à une augmentation de la température et/ou de l'humidité ambiante.

Légende : ↗ augmentation du paramètre ; ↘ diminution du paramètre ; ∅ pas d'influence observée ; Case vide : paramètre non étudié ; Toutes les études ont été réalisées dans des centres de collectes de semence. Lorsqu'il s'agit de conditions environnementales, les données météorologiques ont été collectées auprès de la station la plus proche du centre. HR : humidité relative ; T : température. NB : un climat subtropical humide est caractérisé par des étés chauds et humides et des hivers doux à froids.

Un grand nombre d'études présentées au Tableaux 2A, 2B et 2C ont évalué l'effet de la température ou de la saison sur les paramètres séminologiques de taureaux en centre de collecte de semences.

Pour les taureaux de races allaitantes, l'augmentation de la température, associée éventuellement à une augmentation de l'humidité ambiante entraîne une augmentation du pourcentage de spermatozoïdes présentant des anomalies morphologiques, une diminution de la motilité et de la résistance des spermatozoïdes à la congélation. Cependant, cet effet ne modifie pas la production spermatique, certaines études rapportant même une augmentation du volume de l'éjaculat et du nombre total de spermatozoïdes produits. Ainsi, l'effet délétère de la température ou de la saison est observé essentiellement sur la qualité de la semence mais pas ou peu sur la production.

Pour les taureaux de races laitières, les résultats sont plus difficiles à interpréter. Dans certaines études, aucun effet de la température ou de la saison n'a été mis en évidence sur les paramètres séminologiques. A l'inverse, dans d'autres études, les températures élevées ou la saison chaude ont entraîné une augmentation du pourcentage de spermatozoïdes présentant des anomalies morphologiques et la diminution de la motilité des spermatozoïdes.

De la même façon, une différence de sensibilité au stress thermique a été observée entre les taureaux de races Prim'Holstein et Blanc Bleu Belge. Ces derniers ont présenté une plus faible capacité de thermorégulation testiculaire (Rahman et al. 2011), en raison d'une plus grande quantité de collagène interstitiel.

Par ailleurs, les Zébus (*Bos taurus indicus*) présentent une meilleure adaptation au stress thermique que les taureaux (*Bos taurus*) (Koivisto et al. 2009; Nichi et al. 2006) ou les croisés zébus-taureaux charolais (Brito et al. 2003). Ainsi, les effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques sont plus marqués chez *Bos taurus*, avec un retour à une production spermatique normale plus lent que pour les zébus (Johnston, Naelapaa, Frye 1963).

En définitive, cette synthèse bibliographique montre un effet des températures élevées ou de la saison chaude sur la qualité spermatique et suggère une différence de sensibilité en fonction du type de production. Cependant, aucune de ces études n'a été réalisée en France. En outre, certaines études ont été réalisées sur une population limitée. C'est la raison pour laquelle, l'objectif de notre thèse était de réaliser une analyse rétrospective des journaux de collecte de centres d'insémination du Sud-Ouest de la France pour évaluer sur une population de taureaux de races laitières et de races allaitantes et sur une période d'étude de 10 ans les effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques.

PARTIE EXPERIMENTALE

1. Matériels et méthodes

1.1. Centres de collecte de semence

1.1.1. Situation géographique

L'étude a été réalisée de janvier 2002 à juillet 2012, à partir de données issues des journaux de collecte de semences des taureaux des centres de collecte de semences d'AURIVA (Nauzes et Tournal), situés sur des sites géographiques très proches, à Soual, dans le Tarn en région Occitanie (Figure 3).

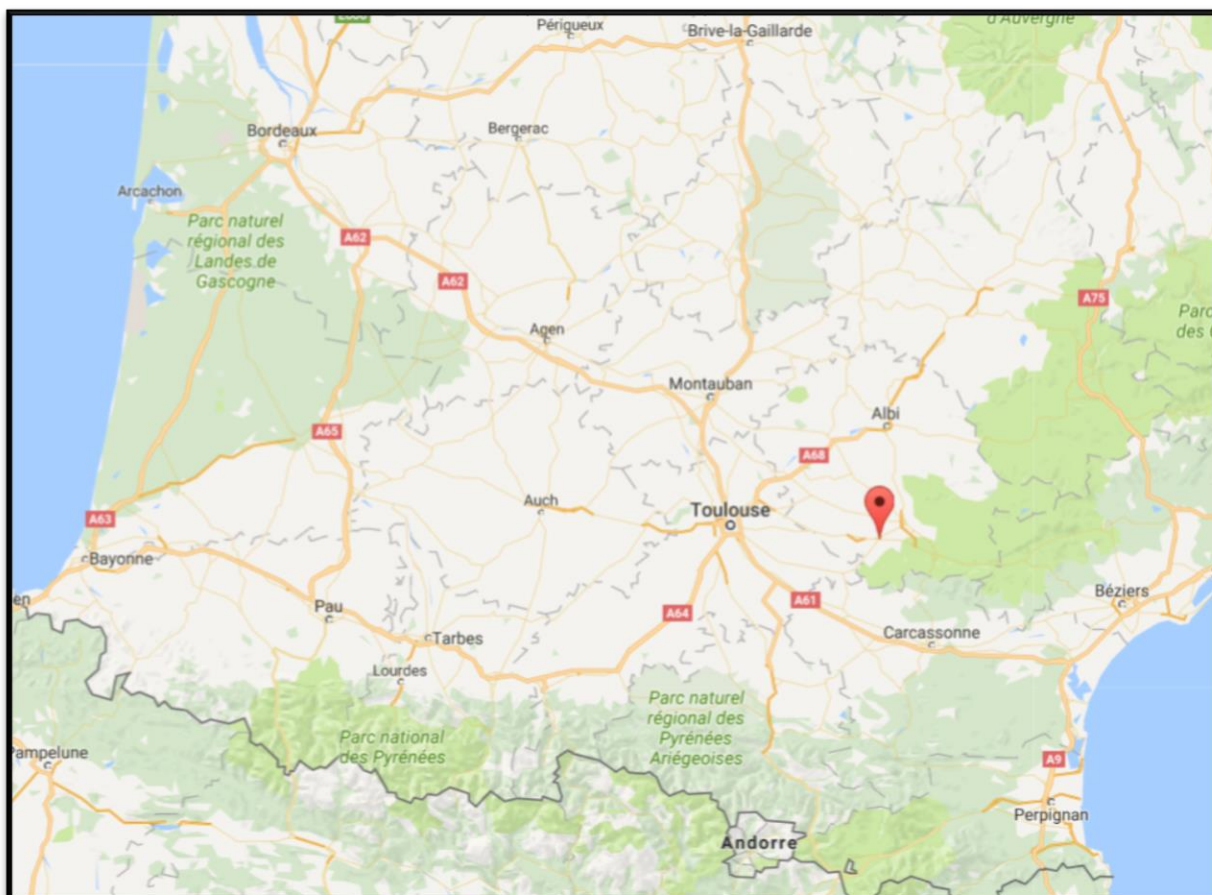


Figure 18- Situation géographique des deux centres de collecte de semence à Soual, dans le Tarn – Source : cartesfrance.fr

1.1.2. Conduite d'élevage des taureaux

- *Entrée des taureaux dans les centres de collecte*

Avant leur entrée dans un centre de collecte de semence, tous les taureaux doivent obligatoirement avoir séjourné pendant 56 jours à la station de quarantaine des Nauzes, en accord avec la réglementation.

Suite à cette quarantaine, les taureaux sont répartis entre les deux sites (Nauzes et Tournal) selon les places disponibles.

Les taureaux nouvellement introduits en centre de collecte sont habitués progressivement à la collecte de sperme en salle de monte.

Jusqu'en 2007, les taureaux Prim'Holstein étaient collectés précocement (10-18 mois) pour produire les doses de testage et une réserve de paillettes. Puis les taureaux étaient en arrêt de production (lay off) pendant quelques années, jusqu'à la première lactation de leurs filles, permettant ainsi d'estimer leurs index génétiques sur descendance. Depuis 2007, la sélection génomique (méthode de sélection assistée par marqueurs) permet de prédire la valeur génétique des taureaux, qui peuvent donc produire de la semence destinée à l'IA sans interruption, dès leur entrée dans le centre.

- *Alimentation*

Même si des modifications mineures de l'alimentation ont pu survenir au cours de la période de 10 ans, les taureaux ont reçu une ration à base de foin de bonne qualité à volonté (en moyenne 12-15 kg de foin distribué par taureau et par jour) complétée par des concentrés et une pierre lécher. Les aliments concentrés, à base de maïs, d'orge et de soja et incluant l'aliment minéral vitaminé ont été distribués deux fois par jour et la ration a été adaptée à l'état d'entretien des animaux. La quantité de concentrés est d'environ 5 kg pour les jeunes Prim'Holstein en croissance (9-11 mois, 400 kg) et de 2,5 à 3 kg pour les taureaux adultes (environ 800 kg).

Au site des Nauzes, chaque taureau a reçu à son arrivée, puis régulièrement, des cures de complément associant vitamines A, E et C ainsi que des oligo-éléments (zinc, sélénium).

- *Logement*

Le site du Tournal contient 172 places pour un nombre de taureaux présents de 150 à 170 en moyenne. Le site des Nauzes présente 84 places pour un nombre de 70 à 85 taureaux présents en moyenne sur l'année.

Le paillage a été réalisé une fois par jour (8-11 kg/animal/jour) pour les taureaux en production et tous les 2 jours pour les taureaux en lay off.

Les boxes sont vidés et désinfectés toutes les 2 à 3 semaines pour les taureaux en production et toutes les 4 à 6 semaines pour les taureaux en lay off.

Le bâtiment de lay-off du site du Tournal comprend des boxes collectifs de 4 à 6 animaux. Mais tous les taureaux en production sont hébergés dans des boxes individuels.

- *Protocole sanitaire dans les centres AURIVA*

Le protocole sanitaire suivi dans les taurelleries d'AURIVA tient compte à la fois des exigences règlementaires (arrêté du 11 janvier 2008) et des considérations commerciales (export vers des pays tiers ayant leurs propres exigences sanitaires).

Une fois par an, tous les animaux présents en centre doivent subir les tests règlementaires suivants : sérologies brucellose, leucose, rhinotrachéite infectieuse bovine, diarrhée virale bovine (uniquement sur les animaux séronégatifs), intradermotuberculination et recherche de *Campylobacter fetus venerealis* et de *Trichomonas fetus* (isolement et culture) dans le liquide préputial.

En plus de ces tests annuels réglementaires, un test sérologique vis-à-vis de la paratuberculose et des tests sérologiques additionnels semestriels sont réalisés, uniquement sur les taureaux en production : rhinotrachéite infectieuse bovine, diarrhée virale bovine (uniquement sur les animaux séronégatifs) ainsi qu'une recherche de *Campylobacter fetus* venerealis et de *Trichomonas fetus* (isolement et culture) dans le liquide préputial.

Par ailleurs, à partir de 2008 pour la Fièvre Catarrhale Ovine et 2011 pour la maladie de Schmallenberg, tous les taureaux en production ont eu un suivi mensuel sérologique ou virologique, selon le statut de l'animal vis-à-vis de ces deux infections.

1.2. Base de données

Notre base de données inclut les collectes des taureaux des deux centres de collectes de janvier 2002 à juillet 2012. Pour chaque collecte sont indiquées les caractéristiques du taureau et de la collecte :

- Identification
- Site
- Race
- Date de naissance
- Date des collectes
- Numéro de saut (pour les collectes comprenant deux sauts de suite), et le cas échéant, le refus de saut.

Pour chaque collecte ayant permis le recueil d'un éjaculat, la base de données contient les paramètres séminologiques suivants :

- Volume de l'éjaculat
- Concentration de l'éjaculat en spermatozoïdes
- Pourcentage de spermatozoïdes mobiles avant congélation
- Pourcentage de spermatozoïdes mobiles après décongélation
- Nombre de doses produites pour chaque collecte et le cas échéant pour le deuxième saut

L'influence du stress thermique ou des saisons sur les paramètres séminologiques, le taux de refus et le taux d'élimination des éjaculats avant congélation et le taux d'élimination des éjaculats congelés (i.e. nombre d'éjaculats éliminés après congélation/ nombre d'éjaculats congelés) ont été analysés.

Les éjaculats ont été éliminés pour les valeurs seuils des paramètres séminologiques suivantes :

- Concentration en spermatozoïdes inférieure à 300 millions de spermatozoïdes par millilitre.
- Pourcentage de spermatozoïdes mobiles dans l'éjaculat frais inférieur à 50%
- Pourcentage de spermatozoïdes mobiles après décongélation inférieur à 30%

Lorsque les paillettes sont conformes aux critères de décision, l'éjaculat est stocké pendant une période réglementaire de 30 jours, puis distribué aux inséminateurs en fonction des besoins.

Notre base de données regroupe 674 taureaux de races laitières (71 Bruns et 603 Prim'Holstein) ayant produit 18 824 éjaculats (10 457 récoltés au site des Nauzes et 7 827 au Tournal) et 225 taureaux de races allaitantes (72 Limousins, 87 Blonds d'Aquitaine, 32 Charolais, 34 INRA 95) pour une production de 23160 éjaculats sur le site du Tournal. Selon le type de production, les taureaux ont été classés par âge, correspondant à la période post-pubertaire et à la maturité sexuelle (>30 et 36 mois respectivement pour les races laitières et allaitantes) (Dumont 1998, Mathevon et al 1998) :

Races laitières :

- Classe 1 : taureaux de moins de 15 mois
- Classe 2 : taureaux de 15 à 30 mois
- Classe 3 : taureaux de plus de 30 mois

Races allaitantes :

- Classe 1 : taureaux de moins de 24 mois
- Classe 2 : taureaux de 24 à 36 mois
- Classe 3 : taureaux de plus de 36 mois

Les figures 5 et 7 ci-dessous présentent le nombre d'éjaculats récoltés par classe d'âge, entre janvier 2002 et juillet 2012, pour les taureaux de races laitières (Figure 5) et de races allaitantes (Figure 7).



Figure 19 : Nombre d'éjaculats récoltés entre janvier 2002 et juillet 2012, par classe d'âge, pour les taureaux de race laitière Brune et Prim'Holstein sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.

Les taureaux Prim'Holstein sont collectés précocement. Ainsi, 45 %, 21 %, 34% des éjaculats sont collectés sur les taureaux de classe d'âge, respectivement <15 mois, 15-30 mois et >30

mois. Le plus faible nombre d'éjaculats collectés sur les taureaux de 15 à 30 mois est lié à la période de lay off, correspondant au délai d'évaluation des index sur descendance. Le développement de la sélection assistée par marqueurs a modifié cette répartition après 2007 (figure 6).

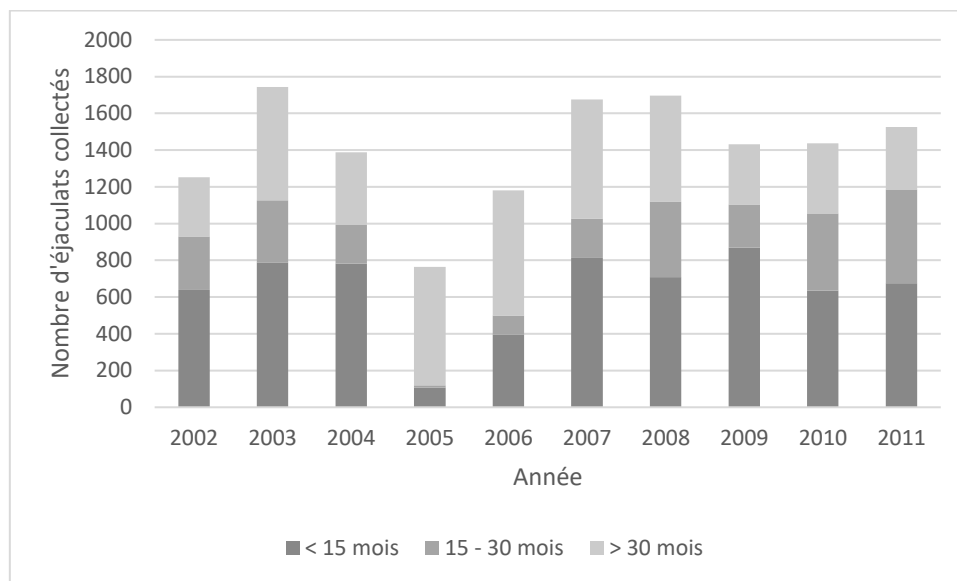


Figure 20 : Nombre d'éjaculats collectés par an et par classe d'âge, pour les taureaux de race laitière Brune et Prim'Holstein sur la période de janvier 2002 à juillet 2012. Après 2007, la proportion d'éjaculats provenant de taureaux de moins de 30 mois augmente, au détriment de celle des taureaux de plus de 30 mois.

En revanche, pour la race Brune, les taureaux sont collectés essentiellement entre 15 et 30 mois d'âge (11 %, 85 %, 4 % des collectes, respectivement pour les classes d'âge <15 mois, 15-30 mois et >30 mois).

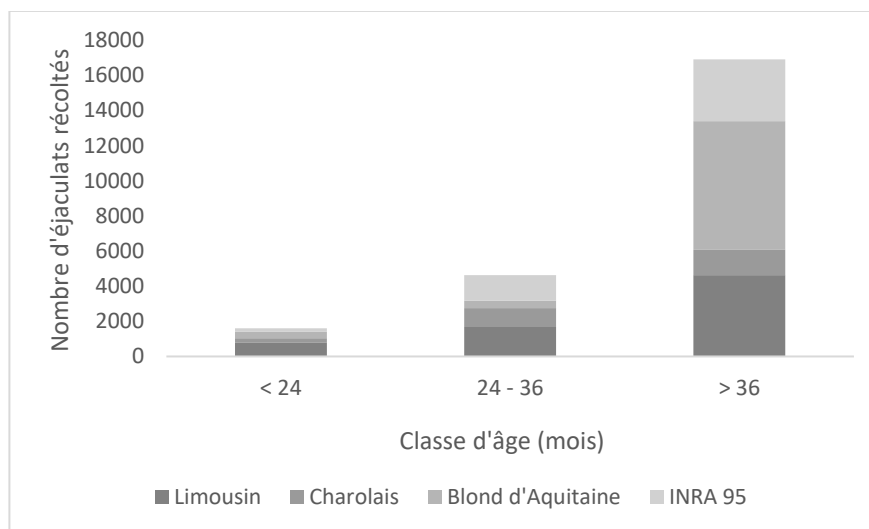


Figure 21 : Nombre d'éjaculats récoltés entre janvier 2002 et juillet 2012, par classe d'âge, pour les taureaux de races allaitantes, Limousins, Charolais, Blond d'Aquitaine et INRA 95, sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.

Le nombre d'éjaculats collectés pour les taureaux de plus de 36 mois est très supérieur à celui des deux autres classes d'âge (7, 20 et 73 % pour les taureaux <24, de 24-36 mois et >36 mois). Ces récoltes plus tardives notamment chez les limousins et les blonds d'Aquitaine, sont liées à une plus faible pression génétique comparativement à la race Prim'Holstein.

Le rythme de collecte est adapté aux caractéristiques physiologiques du taureau (individu, âge, race, ...) et à la demande de sa semence. Les figures 7, 8 et 9 ci-dessous présentent le nombre total d'éjaculats en fonction du délai entre deux collectes successives, classé selon les catégories suivantes :

- Classe 1 : moins d'un saut par semaine (soit un délai supérieur à 8 jours)
- Classe 2 : 1 saut par semaine (soit un délai de 5, 6, 7 ou 8 jours)
- Classe 3 : 2 sauts par semaine (soit un délai de 3 ou 4 jours)
- Classe 4 : plus de 2 sauts par semaine (soit un délai de 1 ou 2 jours)
- Classe 5 : 2 sauts de suite le même jour (soit un délai de 0 jour)

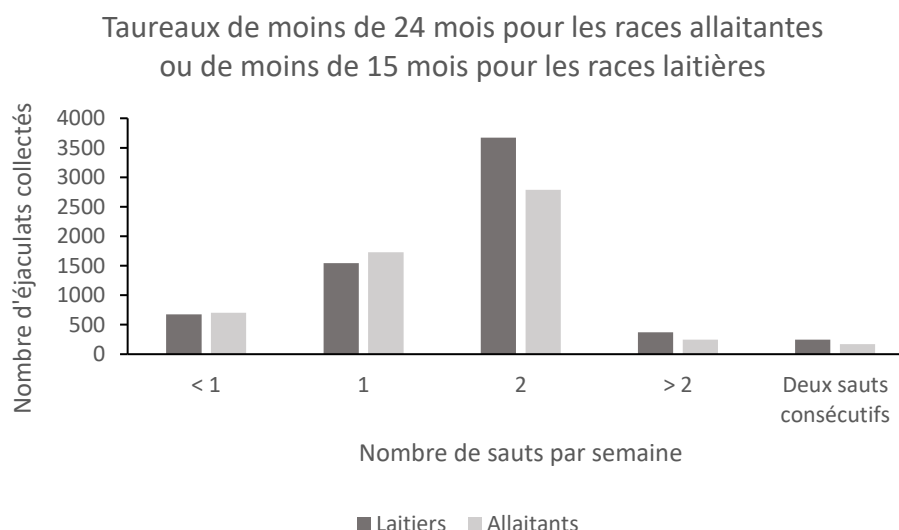


Figure 22 : Nombre d'éjaculats récoltés en fonction du délai entre deux collectes successives pour les taureaux de races laitières de moins de 15 mois et les taureaux de races allaitantes de moins de 24 mois, sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.

Chez les jeunes taureaux en période post-pubertaire, quel que soit le type de production, le rythme de collecte est majoritairement d'une ou de deux collectes par semaine (80 % des éjaculats). 10 et 13 % des éjaculats, respectivement pour les races laitières et allaitantes, sont obtenus avec un rythme de moins d'une collecte par semaine. Les pourcentages de collectes avec un rythme de plus de deux collectes par semaine ou une double collecte sont respectivement de 10 et 7 %.

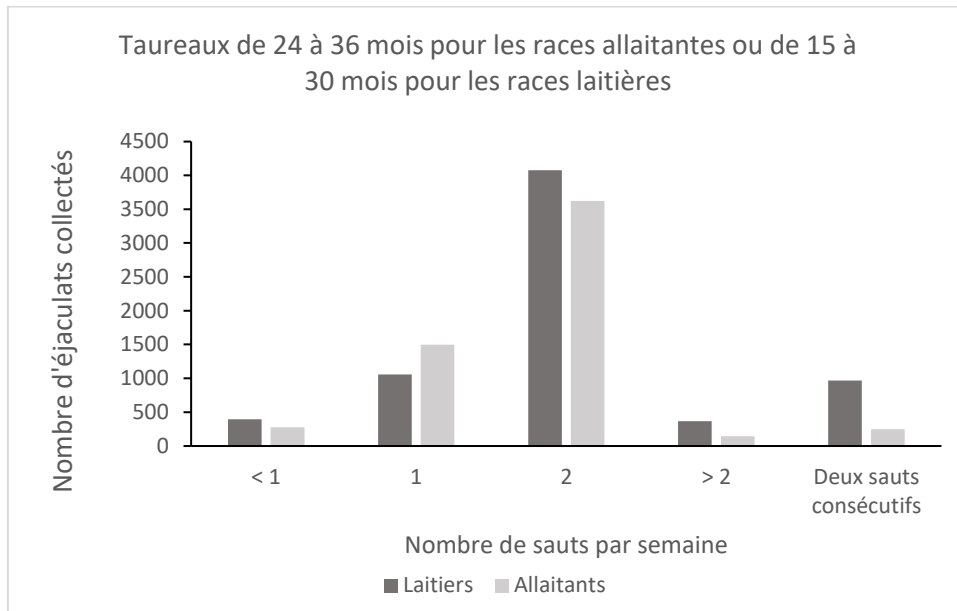


Figure 23 : Nombre d'éjaculats collectés en fonction du délai entre deux collectes successives pour les taureaux de races laitières de 15 à 30 mois et les taureaux de races allaitantes de 24 à 36 mois, sur la période de janvier 2002 à juillet 2012.

Chez les taureaux d'âge intermédiaire (non matures sexuellement), la fréquence des collectes est plus élevée avec une forte proportion d'éjaculats (59 et 63 %, respectivement pour les races laitières et allaitantes) obtenus sur des taureaux collectés deux fois par semaine. Cependant, 14 % des éjaculats de taureaux laitiers analysés sont collectés après des doubles sauts.

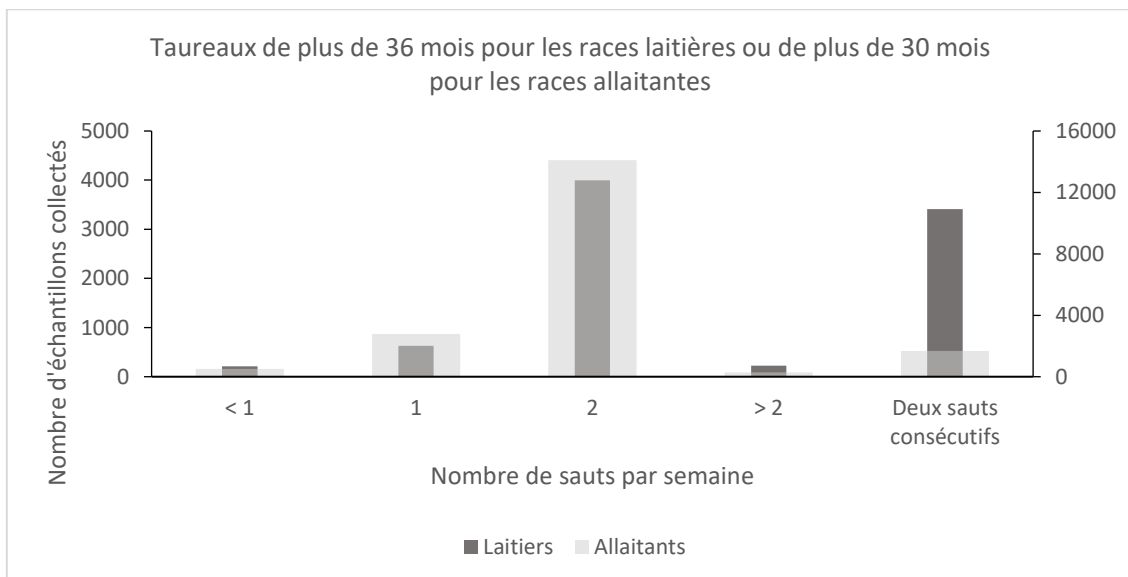


Figure 24 : Nombre d'éjaculats collectés en fonction du délai entre deux collectes successives pour les taureaux de races laitières de plus de 30 mois (échelle de droite) et les taureaux de races allaitantes de plus de 36 mois (échelle de gauche), sur la période de janvier 2002 à juillet 2012

Chez les taureaux adultes, matures sexuellement, la majorité des taureaux allaitants sont collectés deux fois par semaine (73 % des éjaculats collectés). Chez les taureaux de races laitières, le rythme de collecte est plus intensif, avec 40 % d'éjaculats obtenus sur des

doubles collectes et 47% d'éjaculats obtenus sur des taureaux collectés deux fois par semaine. La différence de rythme de collecte entre les taureaux de races laitières et de races allaitantes est expliquée par des différences physiologiques de libido et également par la demande de semence plus forte, notamment pour la semence de taureaux élites Prim'Holstein.

Le rythme de collecte et les double sauts peuvent influencer les paramètres séminologiques (Fuerst-Waltl et al. 2006; Brockett, 1994; Everett, 1982, Mathevon et al., 1998), c'est la raison pour laquelle pour les double sauts, nous n'avons pris en compte dans notre étude que les premiers sauts.

1.3. Données météorologiques

Les données climatiques mensuelles (température ambiante moyenne et humidité relative) ont été obtenues à partir de la station météorologique la plus proche, situé à environ 7 km des centres et à la même altitude. Ces paramètres ont ensuite été utilisés pour calculer le THI, selon l'équation suivante (Kendall, Webster, 2009) :

$THI = (1.8T + 32) - ((0.55 - 0.0055H) \times (1.8T - 26))$ avec T, la température ambiante en °Celsius et H l'humidité relative en %.

1.4. Analyses des données

L'analyse statistique a été réalisée sous R (version 3.3.1).

Dans un premier temps, l'évolution des THI dans le temps a été décrite avec le package timeSeries. Le THI de chaque mois a été décomposé périodiquement (mois et années), et les résidus de THI non périodiques, dits « résidus désaisonnalisés » ont été identifiés.

Dans un second temps, des régressions linéaires et logistiques ont été réalisées pour expliquer différents paramètres d'intérêt décrivant la production et la qualité spermatiques (nombre de spermatozoïdes, volume, concentration, pourcentage de spermatozoïdes avant et après congélation) avec les variables THI (continue), mois de l'année et la classe d'âge des animaux (définie selon le type racial). Les modèles ont été appliqués séparément pour les animaux de type laitier et allaitant et sur les deux sites. Des déclinaisons par race ont également été proposées.

2. Résultats

2.1. Saisonnalité du THI

La décomposition des moyennes mensuelles de THI [data] de la commune de Soual montre (Figure 11) un effet saisonnier (mois et années) [seasonal], avec des valeurs de THI plus faibles (variant de 36,5 à 55) pendant les mois plus froids, d'octobre à avril et plus élevées (variant de 55 à 74,7) pendant les mois chauds de mai à septembre. On observe également une tendance [trend] plutôt stable, très légèrement décroissante, avec deux pics principaux correspondant aux périodes caniculaires de 2003 et 2006 et deux pics secondaires. Les résidus ne sont pas expliqués par l'effet saison et tendance. Le liseré gris à droite de chaque graphique indique le lien de proportionnalité dans la représentation graphique des 4 éléments : l'effet saisonnier est important, la tendance représente un poids modéré et les résidus représentent un poids minime.

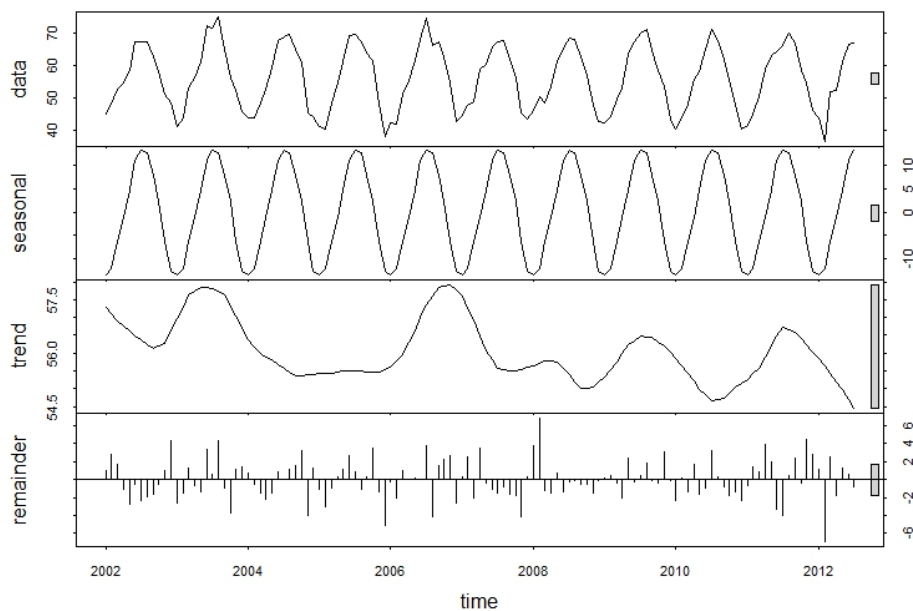


Figure 25 : Décomposition des moyennes des index température-humidité (THI) mensuels, effet saisonnier [seasonal], tendance [trend] et résidus [remainder], sur la commune de Soual, de janvier 2002 à juillet 2012.

Le liseré gris à droite de chaque graphique indique le lien de proportionnalité dans la représentation graphique des 4 éléments.

Les résultats de l'analyse temporelle des THI montrent la présence d'une autocorrélation de lag 4 (figure 12). En effet, la représentation graphique de l'autocorrélation et de l'autocorrélation partielle des THI montre la présence d'autocorrélation du THI d'un mois donné avec celui des quatre mois précédents.

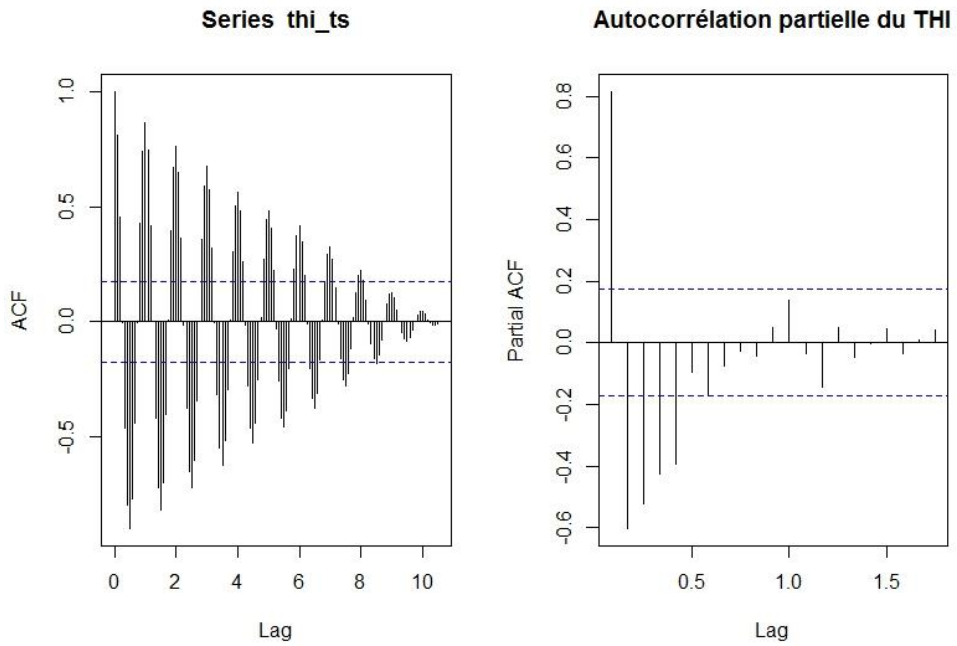


Figure 26 : Représentation graphique de l'autocorrélation et de l'autocorrélation partielle des THI. Le THI d'un mois donné est corrélé avec celui des quatre mois précédents.

Ces analyses ont permis de désaisonnaliser les résidus (Figure 13), même si un doute persiste pour le lga #4.

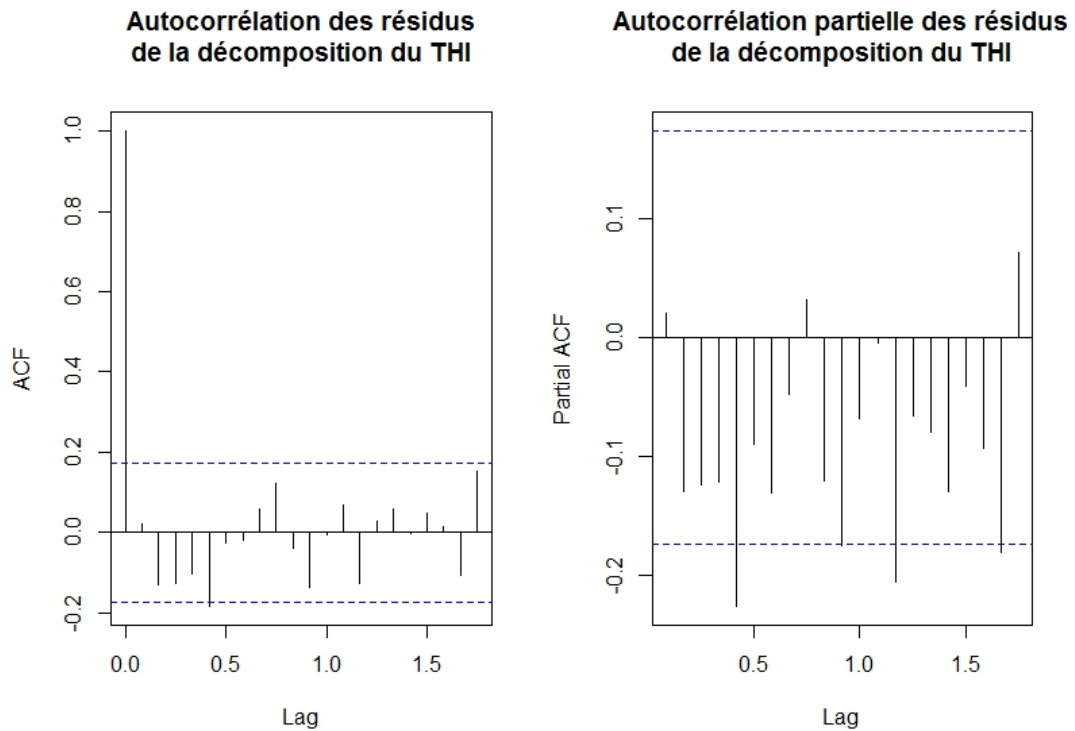


Figure 27 : Autocorrélation et autocorrélation partielle des résidus de la décomposition du THI

2.2. Effet du stress thermique sur les paramètres séminologiques des taureaux de races allaitantes

Les taureaux de races allaitantes étaient majoritairement présents sur le site du Tournal (s2) (tableau 3), le site des Nauzes (s1) regroupant par ailleurs majoritairement des taureaux jeunes (< 24 mois), alors qu'au Tournal, seules 6.7 % collectes ont été réalisées sur des taureaux de moins de 24 mois, avec seulement 0.14 % sur des mâles de moins de 18 mois. C'est la raison pour laquelle, l'analyse des données a été focalisée sur les données du site du Tournal (s2).

	< 24 mois		24 – 36 mois		> 36 mois		Total	
	Nombre de collectes	Nombre de taureaux	Nombre de collectes	Nombre de taureaux	Nombre de collectes	Nombre de taureaux	Nombre de collectes	Nombre de taureaux différents
Les Nauzes	4 330	331	949	52	891	45	6 170	360
Tournal	1 611	94	4 635	115	16 914	146	23 160	225
Total	5 941	425	5 584	167	17 805	191	29 330	585

Tableau 3 : Nombre de taureaux de races allaitantes et de collectes par classe d'âge et par site. Seules les données en gras ont été conservées pour l'analyse des résultats.

Le nombre d'animaux, leur âge à la collecte et le nombre d'éjaculats inclus dans notre étude varient selon les races (tableau 4).

Classe d'âge	< 24 mois		24– 36 mois		> 36 mois		Total	
	Nombre de taureaux	Nombre de collectes	Nombre de taureaux	Nombre de collectes	Nombre de taureaux	Nombre de collectes	Nombre de taureaux différents	Nombre de collectes
Limousin	40	805	45	1 681	40	4 622	72	7108
Charolais	11	242	23	1 063	19	1 452	32	2757
Blond d'Aquitaine	19	355	22	428	65	7 321	87	8104
INRA 95	24	209	26	1 463	22	3 519	34	5191
Total	94	1611	116	4635	146	16914	225	23160

Tableau 4 : Nombre de taureaux et de collectes par classe d'âge et par race, au site du Tournal

Le tableau 5 présente les moyennes (\pm ET) et les rangs des paramètres séminologiques (concentration en spermatozoïdes, volume, nombre de spermatozoïdes par éjaculat, le pourcentage de spermatozoïdes mobiles des taureaux de races allaitantes, par classe d'âge.

	Concentration en spermatozoïdes (en millions/ml)	Volume (ml)	Nombre de spermatozoïdes/éjaculat (millions)	Nombre de doses/éjaculat
Taureaux allaitants (225 taureaux ; 23 160 collectes)	1 504 \pm 498 (med : 1517) (1 – 3769)	6.0 \pm 2.1 (med : 5.4) (0.9-20)	8797 \pm 3976 (med : 8510) (4.8 – 32544)	306 \pm 243 (med : 326) (0 – 1518)
<24 mois (94 taureaux ; 1611 collectes)	1570 \pm 556 (med : 1585) (85 – 3385)	4.8 \pm 1.7 (med : 5.4) (1-14)	7313 \pm 3552 (med : 7309) (128 – 19845)	200 \pm 201.6 (med : 203) (0 – 950)
24-36 mois (116 taureaux ; 4 635 collectes)	1538 \pm 500 (med : 1531) (71-3769)	5.2 \pm 1.8 (med : 5.4) (0.9-15.7)	7935 \pm 3489 (med : 7728) (142 – 27360)	257 \pm 209 (med : 275) (0 – 1060)
> 36 mois (146 taureaux ; 16 914 collectes)	1488 \pm 491 (med : 1508) (1-3165)	6.4 \pm 2.0 (med : 5.4) (1-20)	9427 \pm 4067 (med : 9156) (4.8-32544)	330 \pm 250 (med : 350) (0-1518)

Tableau 5 : Paramètres séminologiques (moyennes \pm ET, médiane, min et max) des 225 taureaux de races allaitantes, par classe d'âge.

- Association entre le stress thermique et le nombre de spermatozoïdes par éjaculat

La figure 14 montre la relation entre le nombre de spermatozoïdes par éjaculat en fonction du THI. L'augmentation d'un point de THI est associée à une baisse de 26 millions spermatozoïdes par éjaculat (figure 14) chez les animaux de 24-36 mois ($p = 0.003$).

L'association entre le nombre de spermatozoïdes et le THI n'est cependant pas retrouvée pour les taureaux des deux autres classes d'âge.

Par ailleurs, les animaux de moins de 24 mois ont 446 millions spermatozoïdes par éjaculat en moins ($p = 0.0001$) et ceux de plus de 36 mois ont 250 millions de spermatozoïdes en plus par éjaculat ($p = 0.005$) que les animaux de 24-36 mois. Comme attendu, une augmentation du nombre de spermatozoïdes par éjaculat est observée avec l'âge des taureaux.

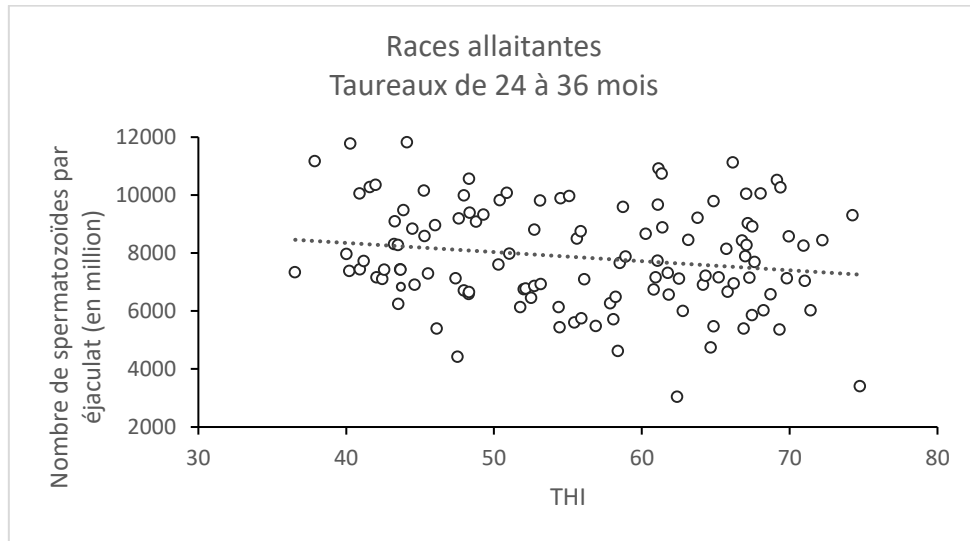


Figure 28: Nombre de spermatozoïdes par éjaculat en fonction du THI chez une population de 116 taureaux de race allaitante de 24 à 36 mois, élevés sur le site du Tournal, sur la période de e 2002 et 2012.

Une unité de THI supplémentaire est associée significativement à une baisse du nombre de spermatozoïdes par éjaculat de 74 et 70 millions pour les races Charolaises ($p = 0.0015$) et INRA 95 ($p = 0.002$, figure 15), respectivement, alors qu'aucune différence significative n'est observée pour les races Limousines et Blonde d'Aquitaine.

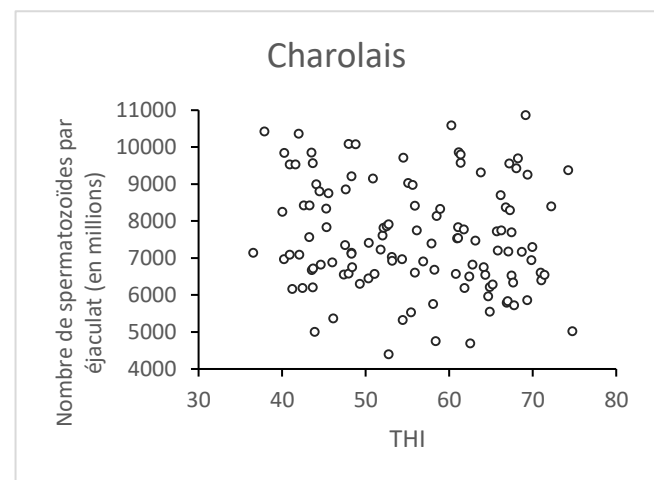
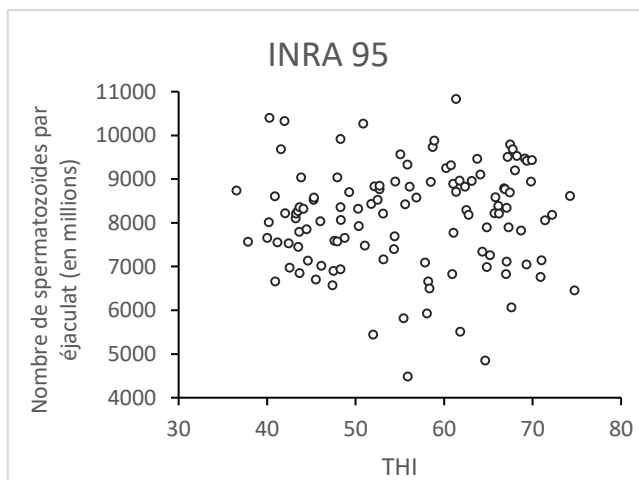


Figure 15 : Evolution du nombre de spermatozoïdes par éjaculat en fonction du THI pour 34 taureaux de race INRA 95 (à gauche) et 32 Charolais (à droite), élevés sur le site du Tournal, sur la période de 2002 et 2012.

- Association entre le stress thermique et le volume des éjaculats

Le volume des éjaculats tend à diminuer de 0.008 mL ($p = 0.06$) par unité de THI pour les animaux de 24 à 36 mois, mais il n'est pas affecté par le THI pour les animaux plus jeunes ou plus vieux.

Par ailleurs, comme attendu, le volume augmente en fonction des classes d'âge.

Le volume d'éjaculat n'est pas significativement associé au THI lorsque les races sont étudiées séparément, en raison probablement de la faible amplitude de la diminution liée au THI et de la diminution de puissance du test pour des effectifs plus réduits.

- Association entre le stress thermique et la concentration de l'éjaculat en spermatozoïdes

La concentration en spermatozoïdes de l'éjaculat n'est pas significativement associée au THI que ce soit pour la population de taureaux allaitants ou pour les différentes races. Mais, elle diminue significativement de 112 millions de spermatozoïdes/mL pour les animaux de plus de 36 mois comparativement à ceux de moins de 24 mois.

- Association entre le stress thermique et le pourcentage de spermatozoïdes mobiles

L'effet du stress thermique sur la mobilité spermatique n'est observé que sur les animaux âgés de plus de 36 mois, pour lesquels le pourcentage de spermatozoïdes mobiles est diminué de 0.11 % par unité de THI croissant ($p < 0.001$, figure 16).

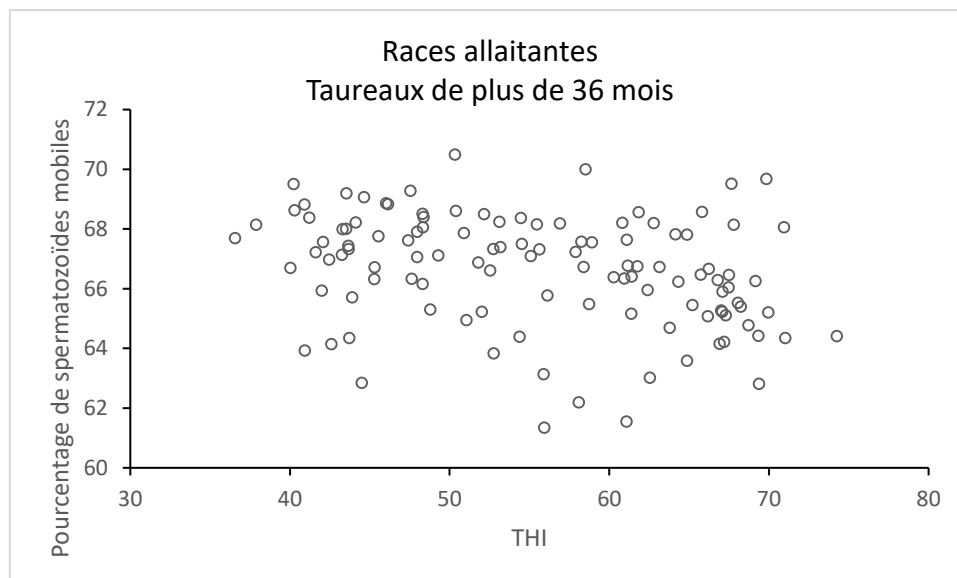


Figure 16 : Evolution du pourcentage de spermatozoïdes mobiles en fonction du THI pour 16 914 éjaculats collectés sur une population de 146 taureaux de races allaitantes de plus de 36 mois, élevés sur le site du Tourjal, sur la période de 2002 à 2012.

En outre, le pourcentage de spermatozoïdes mobiles des éjaculats de taureaux de plus de 24 mois est 1.6 fois plus élevé par rapport à ceux de moins de 24 mois ($p < 0.0001$).

L'effet du THI a également été analysé pour les 4 races de taureaux allaitants. Le pourcentage de spermatozoïdes mobiles des éjaculats collectés sur des taureaux de plus de

36 mois est diminué de 0.28, 0.09 et 0.17 % par unité de THI croissant, respectivement pour les races charolais, blond d'Aquitaine et INRA95. L'effet du THI sur la mobilité spermatique n'est pas significatif pour les taureaux de race Limousine (figure 17).

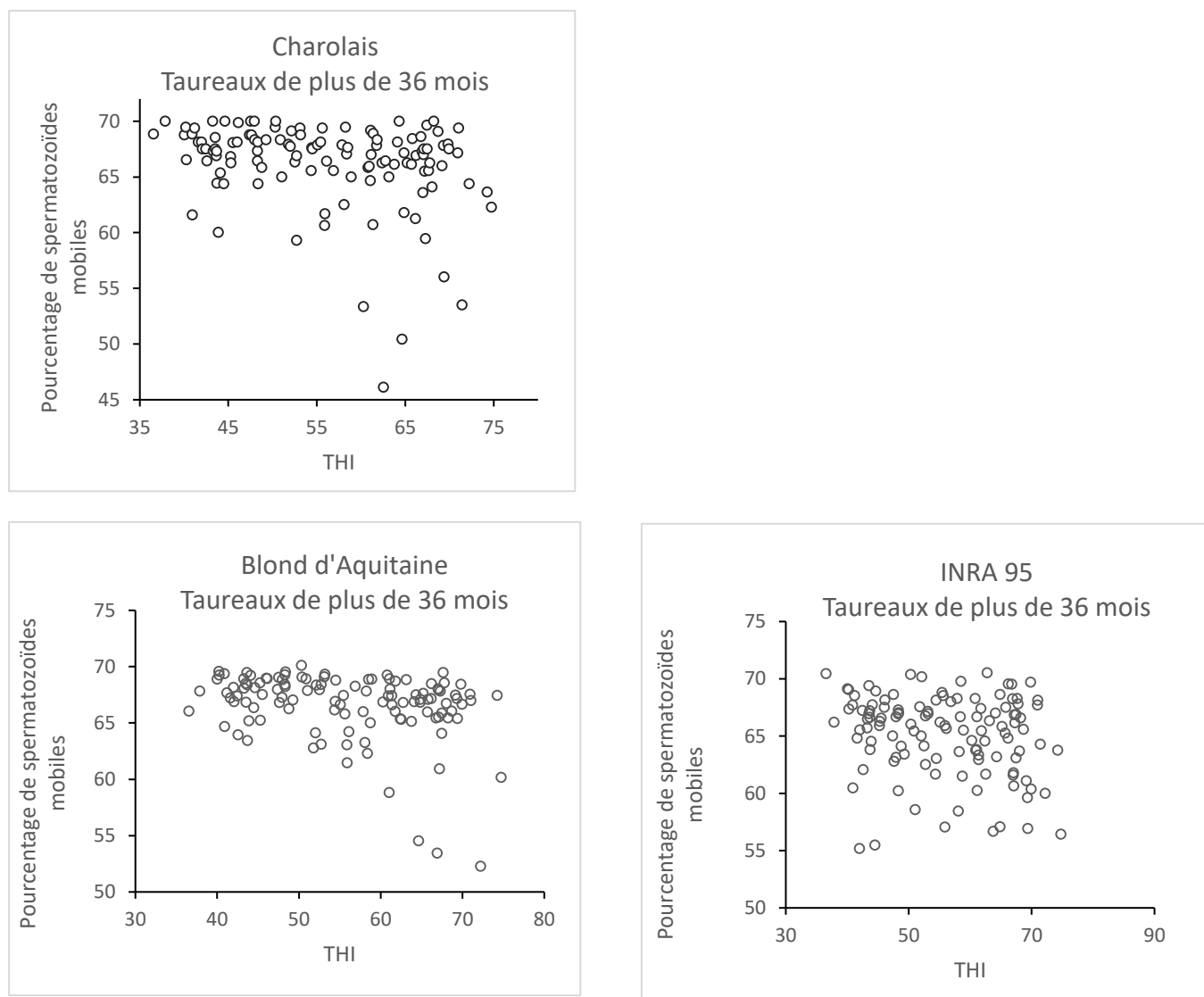


Figure 17 : Evolution du pourcentage de spermatozoïdes mobiles par éjaculat en fonction du THI pour des éjaculats collectés sur 19 taureaux de race Charolais (en haut à gauche), 65 Blond 'Aquitaine (en bas à gauche) et 22 INRA 95 (en bas à droite), âgés de plus de 36 mois et hébergés sur le site du Tournal, sur la période de 2002 à 2012.

- Association entre le stress thermique et le nombre de doses produites par éjaculat

Le nombre de doses produites intègre à la fois des paramètres quantitatifs comme le nombre de spermatozoïdes par éjaculat et également des caractères qualitatifs, comme la mobilité individuelle. Ainsi, comme attendu, les effets de l'âge et du THI sur le nombre de doses produites par collecte sont similaires à ceux observés sur le nombre de spermatozoïdes. L'augmentation d'un point de THI est associée à une baisse de 1.7 doses par collecte (figure 18) chez les animaux de 24-36 mois ($p = 0.0007$).

Par ailleurs, on constate une augmentation du nombre de doses produites avec l'âge. Les animaux de moins de 24 mois ont produit 52 doses en moins et ceux de plus de 36 mois, 22 doses en plus par collecte comparativement aux animaux de 24-36 mois.

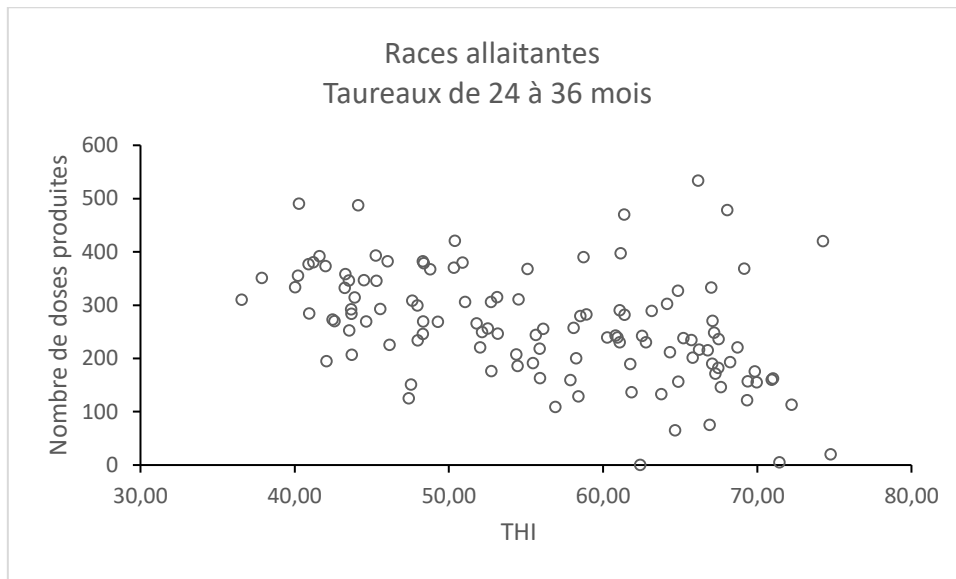


Figure 18 : Evolution du nombre de doses produites par éjaculat en fonction du THI chez une population de 116 taureaux de races allaitantes de 24 à 36 mois, élevés au site du Tournal, sur la période de 2002 à 2012.

L'effet du THI sur le nombre de doses produites par collecte a ensuite été analysé pour les 4 races de taureaux allaitants. Une perte de 2 doses produites par éjaculat est observée par point de THI croissant, pour les taureaux de races Charolais ($p = 0.0016$, figure 19). Cet effet n'est pas significatif pour les trois autres races.

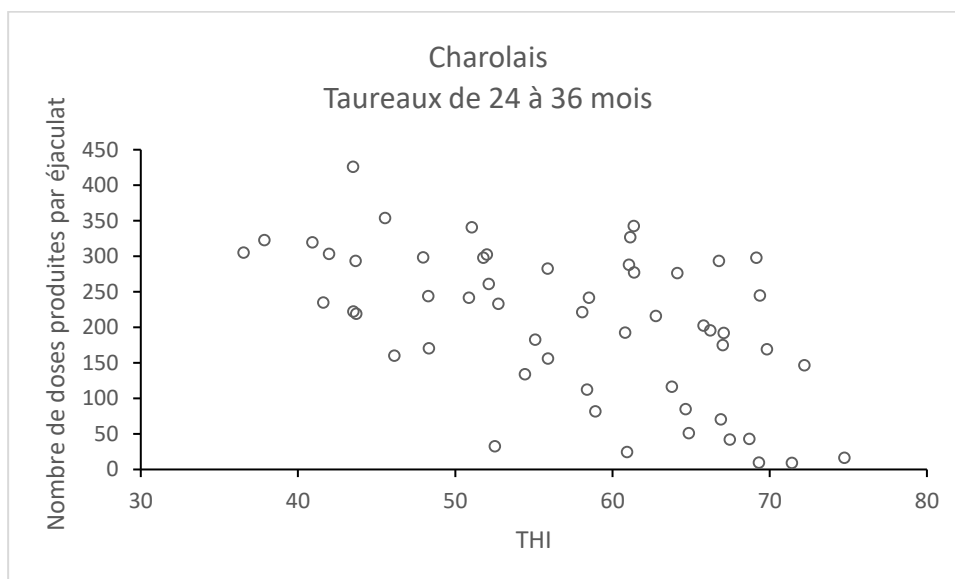


Figure 19 : Evolution du nombre de doses produites par éjaculat en fonction du THI, pour 23 taureaux de race Charolaise, de 24 à 36 mois, élevés sur le site du Tournal de 2002 à 2012.

En conclusion, chez les taureaux de race allaitante, un stress thermique semble donc entraîner une diminution :

- du nombre de spermatozoïdes par éjaculat, pour les taureaux de 24 à 36 mois, de races Charolais et INRA 95

- du volume des éjaculats des taureaux de 24 à 36 mois,
- de la motilité des spermatozoïdes, pour les taureaux de plus de 36 mois, de races Charolais, Blond d'Aquitaine et INRA 95
- du nombre de paillettes produites par éjaculat, pour les taureaux de 24 à 36 mois de race Charolaise.

2.3. Effet du stress thermique sur les paramètres séminologiques des taureaux de races laitières

Les taureaux de races laitières sont présents sur les deux sites (tableau 6), mais le site des Nauzes regroupe majoritairement des individus jeunes (< 24 mois). En outre, les individus des Nauzes de la classe d'âge 15-30 mois ont tous moins de 20 mois d'âge. Les animaux du site du Tournal sont plus âgés, avec une prépondérance d'animaux âgés de plus de 30 mois. Pour les animaux de la classe d'âge 15-30 mois, sur le site du Tournal, seulement un tiers des mâles ont moins de 20 mois contre 100 % sur le site des Nauzes. Compte tenu de ces spécificités, seules les deux principales classes par site sont considérées, et les analyses sont réalisées séparément pour chaque site.

	< 15 mois		15 – 30 mois		> 30 mois		Total	
	Nombre de collectes	Nombre de taureaux	Nombre de collectes	Nombre de taureaux	Nombre de collectes	Nombre de taureaux	Nombre de collectes	Nombre de taureaux différents
Nauzes (s1)	7 010	580	3 388 (3 121 < 20 mois)	277	59	2	10 457	616
Tournal (s2)	67	7	2 628 (724 < 20 mois)	65	5132	109	7 827	165
Total	7 077	587	6 016	342	5 191	111	18 824	781

Tableau 6 : Nombre de taureaux de races laitières et de collectes par classe d'âge et par site. Seules les données en gras ont été conservées pour l'analyse des résultats.

Le nombre d'animaux, leur âge à la collecte et le nombre d'éjaculats inclus dans notre étude varient selon les races (tableau 7).

	Prim'Holstein		Brun	
	Nauzes	Tournal	Nauzes	Tournal
Nombre de taureaux	553	114	62	51
Nombres de collectes	9 537	5432	920	2 395

Tableau 7 : nombre de taureaux de races laitières et d'éjaculats collectés par race et par site

Le tableau 8 présente les moyennes (\pm ET), la médiane et les rangs des paramètres séminologiques des taureaux de races laitières, par classe d'âge.

	Concentration en spermatozoïdes (en millions/ml)	Volume (ml)	Nombre de spermatozoïdes/éjaculat (millions)	Nombre de doses/éjaculat
Taureaux de races laitières (781 taureaux ; 18824 collectes)	1185 \pm 511 (med : 1141) (2-3076)	5.4 \pm 2.3 (med : 5.6) (0.4-20)	6604 \pm 4272 (med : 5431) (2-35340)	309 \pm 297 (med : 163) (0-2329)
<15 mois (580 taureaux ; 7 010 collectes)	947 \pm 433 (med : 914) (2-2675)	3.9 \pm 1.4 (med : 4.2) (0.4-11)	3724 \pm 2031 (med : 6708) (2-16289)	86 \pm 90 (med : 67) (0-642)
15-30 mois (342 taureaux ; 6 016 collectes)	1283 \pm 488 (med : 1239) (3-2989)	5.2 \pm 1.9 (med : 5.8) (1-20)	6694 \pm 3432 (med : 6149) (15-24882)	225 \pm 190 (med : 195) (0-1214)
> 30 mois (109 taureaux ; 5 132 collectes)	1395 \pm 507 (med : 1413) (6-3076)	7.6 \pm 2.3 (med : 8.1) (1.5-20)	10398 \pm 4413 (med : 10298) (14.4-35340)	593 \pm 347 (méd : 602) (0-2329)

Tableau 8 : Paramètres séminologiques (moyennes \pm ET, Médiane et rang) (concentration en spermatozoïdes, volume, nombre de spermatozoïdes par éjaculat, pourcentage de spermatozoïdes mobiles) des 674 taureaux de races laitières, par classe d'âge.

- Association entre le stress thermique et le nombre de spermatozoïdes par éjaculat

L'augmentation d'un point de THI est associée à une baisse de 19 millions de spermatozoïdes par éjaculat ($p = 0.05$) chez les animaux de moins de 15 mois (site des Nauzes, figure 20).

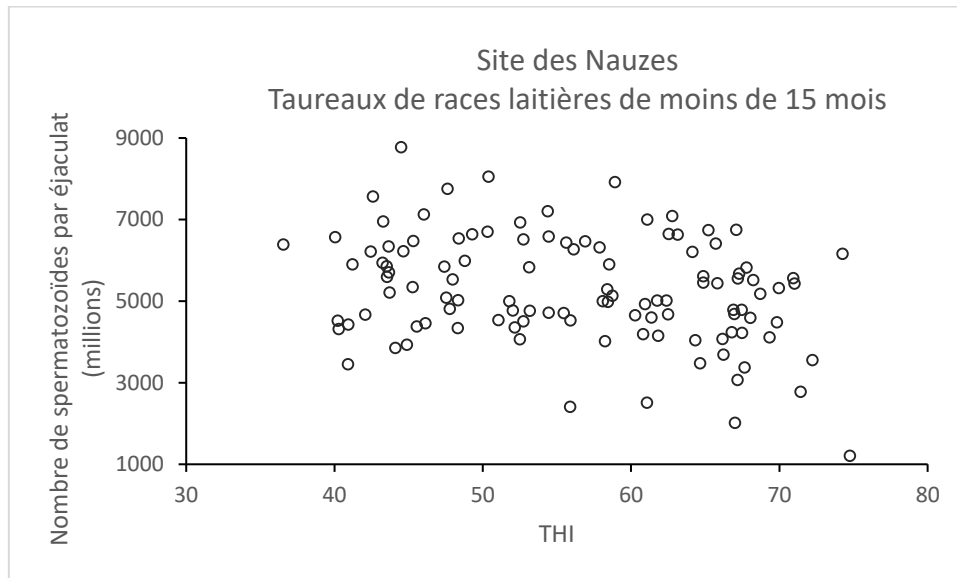


Figure 20 : Evolution du nombre de spermatozoïdes par éjaculat en fonction du THI, pour les 580 taureaux de races laitières de moins de 15 mois collectés au site des Nauzes, sur la période de 2002 à 2012.

Par ailleurs, les éjaculats issus de taureaux de 15 à 30 mois comptent 1.57 milliards de spermatozoïdes en plus que ceux de taureaux de moins de 15 mois ($p < 0.0001$).

- Association entre le stress thermique et le volume de l'éjaculat

Le volume de l'éjaculat est négativement associé à une hausse de THI, avec 0.012 mL en moins pour chaque unité de THI croissante, pour les taureaux de moins de 30 mois, hébergés au site des Nauzes ($p = 0.001$, figure 21).

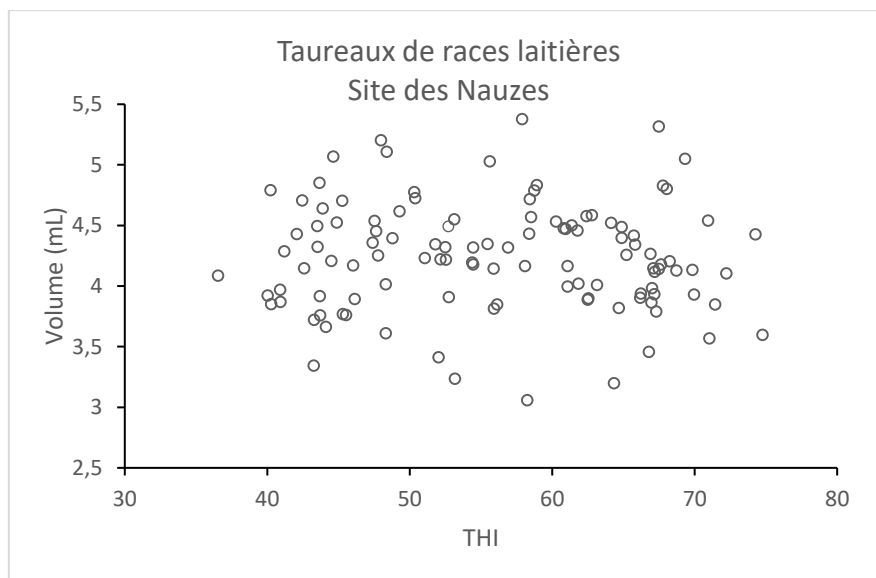


Figure 21 : Evolution du volume d'éjaculat en fonction du THI pour les 615 taureaux de races laitières collectés sur le site des Nauzes, sur la période 2002 à 2012.

Chez les taureaux de race Holstein, collectés sur le site des Nauzes, le volume de l'éjaculat diminue de 0,03 mL pour chaque THI supplémentaire ($p < 0.0001$) alors que l'on observe une augmentation de 0.02 mL d'éjaculat pour chaque THI supplémentaire pour les taureaux de race Brune ($p = 0.02$).

Par ailleurs, on constate l'augmentation du volume des éjaculats de 0.58 mL ($p = 0.021$) entre les taureaux de moins de 15 mois et les taureaux de 15 à 30 mois.

- Association entre le stress thermique et la concentration des éjaculats en spermatozoïdes

L'augmentation d'un point de THI est associée à une faible hausse de 1.02 million de spermatozoïdes / mL d'éjaculat ($p=0.038$) chez les animaux de plus de 30 mois (site du Tournal). Les résultats ne sont cependant pas significatifs pour les analyses race par race.

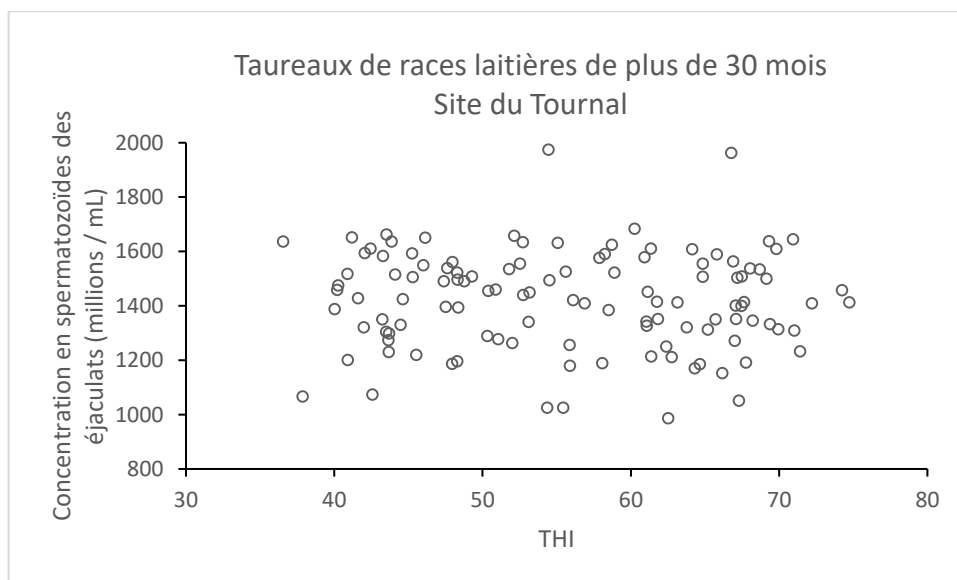


Figure 22 : Concentration en spermatozoïdes des éjaculats récoltés sur la période de 2002 à 2012, en fonction du THI, pour les 109 taureaux de race laitière Brune et Prim'Holstein de plus de 30 mois.

- Association entre le stress thermique et le pourcentage de spermatozoïdes mobiles

Le pourcentage de spermatozoïdes mobiles de l'éjaculat est réduit de 0.06% ($p= 0.01$) et de 0.07% ($p = 0.006$) par unité de THI croissante dans les éjaculats collectés respectivement sur les taureaux de moins de 15 mois et ceux de 15 à 30 mois (site des Nauzes).

Cet effet du THI n'est observé que sur la race Prim'Holstein, pour laquelle le pourcentage de spermatozoïdes mobiles est réduit de 0.02% ($p = 0.02$) chez les taureaux de moins de 15 mois (site des Nauzes) par THI supplémentaire. A l'inverse, pour la race Brune, une augmentation de la mobilité spermatique individuelle de 0.1% par unité de THI est observée ($p = 0.0002$).

Chez les taureaux âgés de 15 à 30 mois, l'effet du THI sur la mobilité spermatique n'est plus significatif si l'analyse est réalisée race par race.

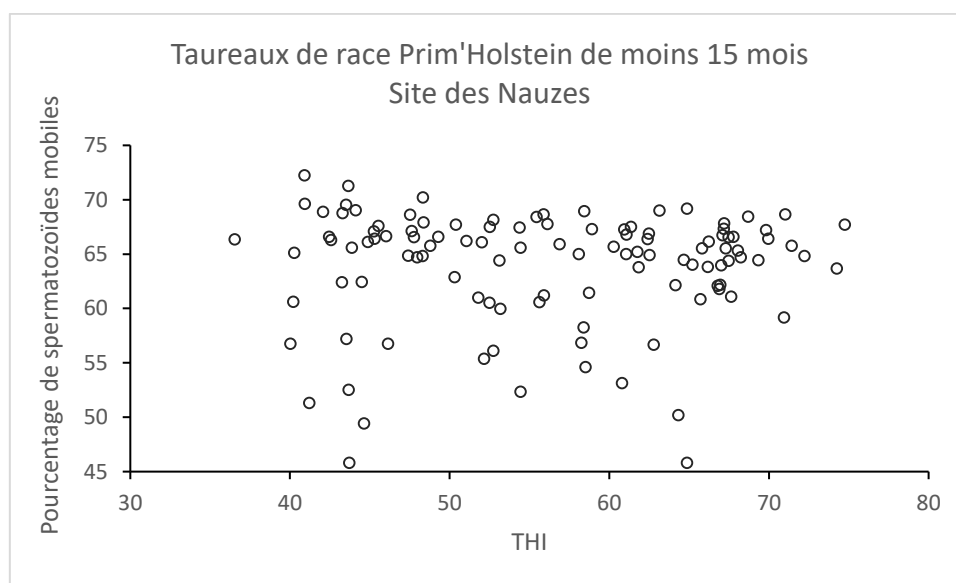


Figure 23 : Pourcentage de spermatozoïdes mobiles dans les éjaculats récoltés sur la période de 2002 à 2012 en fonction du THI, pour les 536 taureaux de race Prim'Holstein de moins de 15 mois (site des Nauzes).

- Effet du stress thermique sur le nombre de doses produites par éjaculat

Le nombre de doses produites par éjaculat est réduit de 2.5 doses par unité de THI croissante chez les animaux de 15-30 mois collectés sur le site des Nauzes ($p=0.0055$, figure 22). Cet effet du THI n'a pas été observé sur le site du Tournal ou pour les autres classes d'âge.

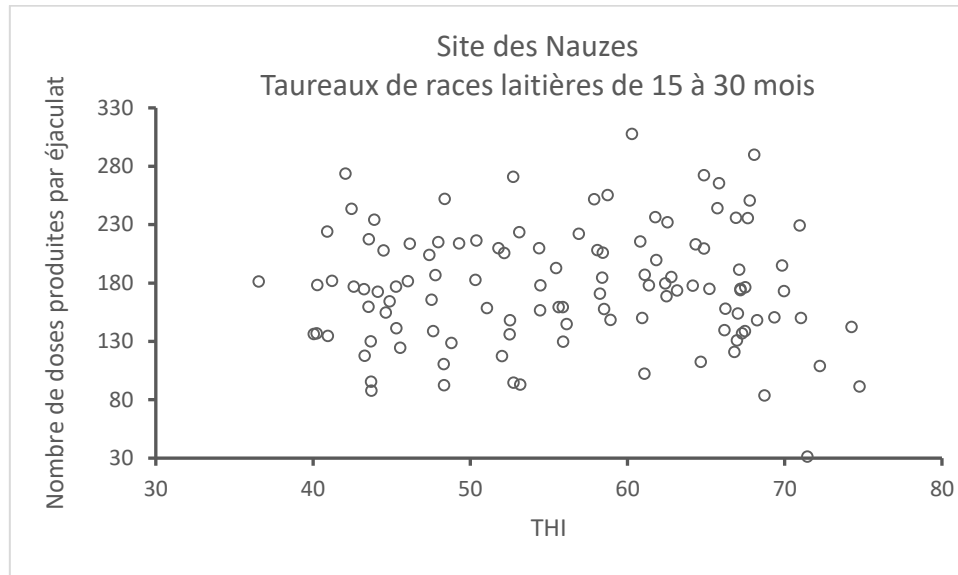


Figure 24 : Evolution du nombre de doses produites par éjaculat en fonction du THI pour les 277 taureaux de 15 à 30 mois élevés sur le site des Nauzes, sur la période de 2002 à 2012.

L'analyse race par race montre que le nombre de doses par éjaculat est réduit de 1.9 ($p=0.0007$) et 6.4 ($p=0.0014$) par unité de THI supplémentaire, respectivement pour les taureaux de race Prim'Holstein et Brune.

En conclusion, pour les races laitières, le stress thermique altère la production de semence de taureaux relativement jeunes. Les effets sur les paramètres séminologiques suivants ont été démontrés :

- Diminution du nombre de spermatozoïdes par éjaculat pour les taureaux âgés de moins de 15 mois
- Diminution du volume d'éjaculat pour les taureaux Prim'Holstein (<15 mois et 15-30 mois)
- Diminution du pourcentage de spermatozoïdes mobiles pour les taureaux Prim'Holstein (<15 mois et 15-30 mois)
- Diminution du nombre de doses produites par éjaculat pour les taureaux de 15-30 mois.

3. Discussion

Notre étude a évalué les effets du stress thermique sur la production et la qualité spermatique de taureaux allaitants et laitiers de centres d'insémination, sur 10 années, de 2002 à 2012. Cette étude rétrospective, dans des conditions terrain, présente l'avantage de disposer d'un grand nombre de collectes. En outre, les taureaux ont été hébergés dans deux centres d'insémination très proches et dont les conditions d'élevage sont relativement uniformes, quelle que soit la saison. De la même façon, les procédures de collecte et de traitements de la semence sont très standardisées et ont subi peu de modifications sur la période considérée. L'avènement de la génomique, en 2007, a entraîné des modifications de l'âge à la collecte des taureaux Prim'Holstein, mais l'ensemble de nos analyses statistiques sur l'effet du stress thermique sur la production spermatique a pris en compte la classe d'âge comme effet fixe. Par ailleurs, des modifications de l'équipe de collecteurs ont pu survenir sur la période de 10 ans. Or, le temps de préparation et de stimulation sexuelle du taureau varie en fonction de l'équipe de collecte, ce qui peut avoir une influence sur les paramètres séminologiques (Komisrud et al., 1996 ; Almquist, 1973 ; Mathevon et al., 1998). Toutefois, dans les deux centres de collecte, le nombre de collecteurs était limité, sept au total au cours des 10 ans de notre étude. En outre, les nouveaux collecteurs ont été formés par l'équipe en place, ce qui permet de conserver une certaine uniformisation des procédures.

Dans les centres d'insémination, les anomalies spermatiques ou les sécrétions hormonales, potentiellement influencées par le THI, ne sont pas évaluées en routine et n'ont donc pas pu être analysées dans cette étude. Par ailleurs, même si les paramètres séminologiques sont relativement bien corrélés au pouvoir fécondant de la semence, d'autres caractéristiques biologiques telles que la réaction acrosomique, la pénétration de la zone pellucide, peuvent influencer la fertilité des taureaux. Grâce à la traçabilité des paillettes, la fertilité des éjaculats pourrait être évaluée au-travers du taux de gestation des vaches inséminées. Cependant, cette étude introduirait également beaucoup de variation liée à la multiplicité des facteurs qui influencent la fertilité des femelles.

Le paramètre utilisé dans notre étude pour mesurer le stress thermique est le THI mensuel, mais cet index ne tient pas compte de différents facteurs tels que la ventilation, la radiation, le logement..., qui pourraient moduler le stress thermique. De plus, les données météorologiques utilisées sont mensuelles. Des données quotidiennes auraient peut-être pu nous permettre d'analyser de façon plus précise l'effet de la durée et du temps d'occurrence du stress thermique sur les paramètres séminologiques. Cependant, il faut garder à l'esprit que la spermatogenèse est un processus long, d'environ 54 jours, suivi du transit épидидymaire de 8 jours. Les études de réchauffement scrotal ont montré que les effets du stress thermique sur la qualité séminologique sont observés deux semaines après son application (Johnston, Naelapaa, Frye 1963; Meyerhoeffer et al. 1985; Rahman et al. 2011) et se prolongent environ deux mois après (Meyerhoeffer et al. 1985; Koivisto et al. 2009). Par conséquent, la prise en compte du THI mensuel permet d'intégrer les effets du THI sur l'ensemble de ces mécanismes physiologiques.

La composante désaisonnalisée du THI a été prise en compte dans nos modèles et le THI a été intégré comme une variable continue dans les régressions linéaires et logistiques, en accord avec les statistiques descriptives. Les modèles statistiques utilisés dans notre étude n'ont pas pris en considération l'autocorrélation observée entre les valeurs des THI des mois successifs, et seul le THI du mois concomitant a été intégré dans les modèles de régression linéaire ou logistique. Des modèles de panel dynamiques auraient permis une meilleure identifiabilité des effets temporels (mois et années) et de l'effet propre du THI sur les variables d'intérêt, mais la base de données disponible ne disposait pas suffisamment de variables exogènes pour corriger les effets de l'autocorrélation.

Par ailleurs, le choix de réaliser des modèles distincts pour les différents sites, classes d'âge et races est justifié par (i) les effets biologiques attendus de ces variables, (ii) les distributions hétérogènes de ces différentes variables, à l'origine de multiples interactions, rendant les résultats difficilement interprétables.

Notre étude a permis de montrer que chez les taureaux de races allaitantes âgés de 24 à 36 mois, un stress thermique entraîne une perte de 26 millions de spermatozoïdes par éjaculat et par unité de THI (soit environ 0.3 % des spermatozoïdes de l'éjaculat/unité de THI, pour un éjaculat contenant 8 milliards de spermatozoïdes). Ce résultat est cohérent avec la diminution du volume de l'éjaculat (0.008 ml/unité de THI, soit 0.16 % pour un éjaculat de 5 ml) et avec la diminution du nombre de doses par collecte de 1,7/unité de THI (environ 0.65 %). Cela signifie qu'entre des taureaux collectés dans des conditions climatiques favorables (THI de 40 à 50) et des taureaux soumis à un stress thermique, la perte en nombre de spermatozoïdes s'élève à 780 millions de spermatozoïdes par éjaculat, correspondant à environ 10 % de l'éjaculat et à une quarantaine de doses. Chez les taureaux Charolais, cette perte s'élève à 74 millions de spermatozoïdes par unité de THI (soit une perte qui peut atteindre 28 % du nombre total de spermatozoïdes de l'éjaculat, pour des taureaux exposés à des THI de 70 versus 40).

Un effet du stress thermique sur la mobilité individuelle des spermatozoïdes a également été observé pour les taureaux âgés de plus de 36 mois, avec une diminution de la mobilité de 0.11 %/unité de THI, correspondant à une baisse de mobilité spermatique de 5 % environ, pour les éjaculats collectés sur des taureaux exposés à des THI de 70 versus 40. Chez les taureaux de race Charolaise, la diminution de la mobilité spermatique peut atteindre 12.5%.

De manière générale, le stress thermique altère la qualité de la semence des taureaux de races allaitantes mais l'intensité de son effet varie en fonction des races et de l'âge. Il est plus important sur les taureaux de races charolaise et INRA 95, comparativement aux mâles blonds d'Aquitaine et Limousins, et sur les taureaux de 24 à 36 mois.

Chez les taureaux de races laitières, on observe également un effet délétère du stress thermique sur les paramètres séminologiques. Chez les taureaux Prim'Holstein de moins de 15 mois, le nombre de spermatozoïdes par éjaculat diminue de 19 millions par THI supplémentaire. Lorsque le THI augmente de 40 à 70, la perte est donc de 570 millions de spermatozoïdes par éjaculat, soit environ 10% de la production spermatique, correspondant à une perte de 30 paillettes. De même, une diminution du volume des éjaculats de 0.03 mL par THI supplémentaire est observée sur les taureaux Prim'Holstein

de moins de 30 mois, soit une diminution de 0.9 mL pour un éjaculat collecté à un THI de 40 comparativement à un THI de 70, ce qui représente environ 22% du volume de l'éjaculat de taureaux Prim'Holstein. Cette baisse de la production spermatique se traduit, comme attendu, par une diminution du nombre de doses produites par éjaculat (2.5 doses par THI supplémentaire), chez les taureaux de races laitières de 15 à 30 mois. Cette perte de production de semence peut atteindre 40% pour des THI de 40 à 70.

Les variations des effets du stress thermique en fonction des races des taureaux et des classes d'âge sont inhérentes à notre étude terrain, qui inclut un grand nombre de facteurs de variations de la production de semence, liés à l'âge, à la fréquence des collectes, à la race, et même à l'individu, certains taureaux étant collectés plus intensivement et sur une plus longue période que d'autres. En outre, certaines races sont moins représentées, ce qui limite la puissance de nos tests statistiques. , Quoiqu'il en soit, l'ensemble de nos résultats démontrent clairement que le stress thermique altère de manière linéaire les paramètres séminologiques, quel que soit le type de production, mais que cet effet est observé essentiellement chez les animaux jeunes. Nos résultats sont en accord avec ceux d'autres études (Fields, 1979 ; Koivisto et al., 2009 ; Ahmad, 2003 ; Bhakat et al, 2011 ; Bhakat et al., 2015). Par ailleurs, en accord avec de nombreuses études (Everett, 1982, Taylor, 1985, Mathevon, 1998), nous avons montré une augmentation de la qualité et de la production spermatique avec l'âge, que ce soit pour les taureaux de races laitières ou allaitantes.

Les différences interraciales de sensibilité au stress thermique pourraient être liées à des différences anatomiques. Ainsi, les capacités optimales de thermorégulation scrotale sont associées à l'augmentation du caractère pendulaire du scrotum, à la longueur et au volume de l'artère testiculaire et à une diminution de la distance artério-veineuse dans le cône vasculaire. Par ailleurs, une diminution de la taille, une augmentation du ratio de la surface cutanée sur la masse corporelle, la présence de glandes sudoripares entraîne une meilleure résistance des animaux au stress thermique. Ainsi, les taureaux très développés (adultes de races Prim'Holstein, ou Brune) ont une capacité de thermorégulation supérieure aux taureaux de format plus ramassé, comme les Charolais et les INRA 95. En outre, la finesse des poils peut également faciliter la thermolyse. Ainsi, les taureaux Blonds d'Aquitaine ont des poils plus ras et plus fins que les taureaux Charolais.

Une étude de Brito et al (2004) a évalué la relation entre les variations anatomiques scrotales entre les zébus et les taureaux de races bouchères et la différence de résistance au stress thermique des éjaculats. Elle a montré que la longueur ou le volume de l'artère testiculaire, rapportés au volume testiculaire étaient plus élevés chez les zébus comparativement à des taureaux de races bouchères. De plus, l'épaisseur de la paroi de l'artère testiculaire, et la distance entre le sang artériel et veineux au niveau du cône vasculaire sont plus réduites chez *Bos indicus* comparativement à *Bos taurus*, ce qui faciliterait l'efficacité des échanges thermiques à contrecourant permettant ainsi de diminuer la température du sang artériel testiculaire. Ces variations anatomiques du cône vasculaire permettent d'expliquer la meilleure résistance du sperme de zébus au stress thermique. Les différences de conformation scrotale chez les taureaux des

principales races européennes ont été peu décrites, ce qui ne nous permet pas d'expliquer les différences interraciales de sensibilité au stress thermique.

Des différences morphologiques scrotales liées à l'âge pourraient également expliquer en partie des variations de sensibilité au stress thermique. Ainsi, les taureaux adultes (> 36 mois) ont une circonférence scrotale et un diamètre du col scrotal plus élevés, ce qui pourrait faciliter les mécanismes de thermorégulation testiculaire. Les taureaux âgés (>60 mois) ont également un scrotum plus pendulaire. Cependant, chez les taureaux jeunes, la couche de graisse recouvrant le cône vasculaire est plus fine (Brito et al, 2002), ce qui pourrait optimiser la capacité de thermorégulation scrotale. Ainsi, les altérations de la qualité spermatique chez les taureaux exposés au stress thermique pourraient être plus prononcées pour les animaux d'âge intermédiaire (24-36 mois), comme nous l'avons observé pour les races bouchères. Toutefois, ces relations entre la résistance spermatique et les variations de conformation scrotale liées à l'âge sont difficiles à mettre en évidence dans notre étude, car les taureaux matures sexuellement ont une meilleure production spermatique que les taureaux jeunes.

En définitive, le stress thermique altère la production de semence de taureaux d'insémination, ce qui entraîne une perte économique pour les centres d'insémination. Il est donc important de mettre en place des mesures de gestion du stress thermique, permettant d'assurer une meilleure thermorégulation, en particulier scrotale. Ainsi, l'utilisation de ventilateurs et/ou de brumisateurs et des douches aux taureaux aux heures les plus chaudes permettraient d'améliorer la thermolyse. L'utilisation de tapis réfrigérants pourraient permettre de diminuer la température au contact des testicules, surtout chez des taureaux, atteints de troubles locomoteurs par exemple et qui restent longtemps couchés Il est enfin conseillé de réaliser les collectes, le matin aux heures les plus fraîches.

Si ces mesures sont difficiles à mettre en place ou insuffisantes, le centre de collecte de semence peut réfléchir à réorganiser son calendrier de collecte afin de laisser au repos les taureaux durant les mois de stress thermique, leur permettant ainsi de réduire les coûts de fonctionnement du centre.

CONCLUSION

Notre étude a montré que le stress thermique altère les paramètres séminologiques des taureaux de centre d'insémination. Chez les taureaux de races allaitantes, et principalement pour les races Charolaise et INRA 95 de plus de 24 mois, et chez les taureaux de races laitières, essentiellement les Prim'Holstein de moins de 30 mois, une augmentation du THI a entraîné une diminution du nombre de spermatozoïdes par éjaculat et de leur motilité ainsi que du volume d'éjaculat. Il en résulte une diminution du nombre de paillettes produites par éjaculat.

Ces résultats ont été obtenus à partir d'une étude rétrospective réalisée au sein de deux centres d'insémination. Il serait intéressant de poursuivre cette étude en évaluant les effets du stress thermique sur la résistance des spermatozoïdes à la congélation.

En France, les stratégies pour lutter contre le stress thermique sont peu développées. Or, dans le contexte actuel de réchauffement climatique, il est important de mettre en place des dispositifs de lutte contre le stress thermique (ventilateurs, brumisateurs...) afin de limiter son effet adverse sur la santé, le bien-être et les performances des animaux, et ainsi diminuer les pertes économiques des centres d'insémination liées à la diminution du nombre de paillettes produites.

AGREMENT SCIENTIFIQUE

En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire

Je soussignée, Nicole HAGEN, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Maëlys GARRIGUE** intitulée « **Effet du stress thermique sur les paramètres sémiologiques de taureaux de centre d'insémination.** » et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

Fait à Toulouse, le 29 mai 2017
Professeure Nicole HAGEN
Enseignant chercheur
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu : 30/5/2017
Le Président du jury :
Professeur Louis BUJAN

Vu :
La Directrice de l'Ecole Nationale
Vétérinaire de Toulouse
Isabelle CHMITELIN



Vu et autorisation de l'impression :
Président de l'Université
Paul Sabatier
Monsieur Jean-Pierre VINEL

Le Président de l'Université Paul Sabatier
par délégation,
La Vice-Présidente de la CFVU



Régine ANDRE-OBRECHT

Conformément à l'Arrêté du 20 avril 2007, article 6, la soutenance de la thèse ne peut être autorisée qu'après validation de l'année d'approfondissement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ahmad, M., M. T. Asmat, and N. U. Rehman. Semen Characteristics of Sahiwal Bulls in Relation to Age and Season. *Pakistan Veterinary Journal (Pakistan)*, 2003.
- Ahmad, M., Tauseef M. Asmat, and Najib-ur-Rehman. Relationship of Testicular Size and Libido to Age and Season in Sahiwal Bulls. *ResearchGate*, March 1, 2005.
- Almquist J.O. Effects of sexual preparation on sperm output, semen characteristics and sexual activity of beef bulls with a comparison to dairy bulls. *Journal of Animal Science*, 1973 36(2): 331–336.
- Amann R.P. Endocrine changes associated with onset of spermatogenesis in Holstein bulls. *Journal of Dairy Science*, 1983, 66(12): 2606-22
- Barone, R. – Anatomie comparée des mammifères domestiques – Tome 4 : Splanchnologie __. Paris : Vigot, 1990. 501p.
- Bhakat, M, T. K. Mohanty, A. K. Gupta, S Prasad, A K Chakravarty, and H. M. Khan. Effect of season on semen quality parameters in murrh buffalo bulls. March 2015, Buffalo Bulletin, Vol 34 No.1 edition.
- Bhakat, Mukesh, T. K. Mohanty, V. S. Raina, A. K. Gupta, H. M. Khan, R. K. Mahapatra, and M. Sarkar. Effect of Age and Season on Semen Quality Parameters in Sahiwal Bulls. *Tropical Animal Health and Production* 43, no. 6 (August 2011): 1161–68.
- Brito, Leonardo F.C., Antonio E.D.F. Silva, Rogerio T. Barbosa, Maria M. Unanian, and John P. Kastelic. Effects of Scrotal Insulation on Sperm Production, Semen Quality, and Testicular Echotexture in Bos Indicus and Bos Indicus × Bos Taurus Bulls. *Animal Reproduction Science* 79, no. 1–2 (November 2003): 1–15.
- Brito, Leonardo F.C., Silva Antonio E.D.F, Barbosa Rogerio T., Kastelic John P. Testicular thermoregulation in Bos indicus, crossbred and Bos taurus bulls: relationship with scrotal, testicular vascular cone and testicular morphology, and effects on semen quality and sperm production. *Theriogenology*, no2-3 (2004). Vol 61, p. 511-528.
- Brito, Leonardo F.C., Barth A.D., Wilde R.E., Kastelic J.P. Effects of growth rate from 6 to 16 months of age on sexual development and reproductive function in beef bulls. *Theriogenology*, no 77 (2012). 1398-1405.
- Brockett, C. C., G. A. Presicce, R. H. Foote, M. T. Kaproth, and H. E. Rycroft. 1994. Semen quality and behavior of Holstein bulls exposed to estradiol-treated bulls for mounts. *J. Dairy Sci.* 77:124–131.

- Burgos Zimbelman R., Collier R.J. Feeding strategies for high-producing dairy cows during periods of elevated heat and humidity. Tri-State Dairy Nutrition Conference, april 2011.
- Chenoweth, P.J. – Clinical Reproductive Anatomy and Physiology of the bull – In: Robert, S. Yougquist., Walter, R. Threfall – Current Therapy in large animal theriogenology, second edition – Saunders Elsevier, 2007, p 217.
- Chenoweth, P.J., Brinks J.S., Nett T.M. A comparison of three methods of assessing sex-drive in yearling beef bulls and relationships with testosterone and LH levels. *Theriogenology*, Vol.12, No 4, october 1979, 223-233.
- Collier RJ, Gebremedhin KG. Thermal Biology of Domestic Animals. *Annual Review of Animal Biosciences*, no 1 (February 2015). Vol.3, p. 513-532.
- Coulter G.H., Mapletoft R.J., Kozub G.C., Bailey D.R.C, Cates W.F. Heritability of scrotal circumference in one- and two-year-old bulls of different beef breeds. *Journal of Animal Sciences*, 1987, 67: 645-651
- Dadoue, J-P. et Demoulin, A. Structure et fonctions du testicule. In: Thibault, C et Levasseur, M-C. – La Reproduction chez les mammifères et l’homme – nouvelle édition. Paris : INRA Editions ellipses, 2001, 256-289.
- Diarra, Moussa S., J. P. Paré, and G. Roy. Facteurs Génétiques et Environnementaux Affectant La Qualité de La Semence de Jeunes Taureaux Holstein. *Canadian Journal of Animal Science* 77, no. 1 (March 1, 1997): 77–85.
- Dixit, N. K., S. P. Agarwal, V. K. Agarwal, and P. K. Dwaraknath. Seasonal Variation in Serum Levels of Steroid Hormones and Their Relation with Seminal Quality and Libido in Buffalo Bulls. *Theriogenology* 24, no. 3 (September 1985): 293–303.
- Dumont, P. Appréciation de La Fonction Sexuelle Du Taureau Reproducteur. *Le Point Vétérinaire* 1997a, 28(185). 1617-1628, 1997.
- Erb, R. E., F. N. Andrews, and J. H. Hilton. Seasonal Variation in Semen Quality of the Dairy Bull. *Journal of Dairy Science* 25, no. 9 (September 1, 1942): 815–26.
- Evans A.C.O., Davies F.J., Nasser L.F., Bowman P., Rawlings N.C. Differences in early patterns of gonadotrophin secretion between early and late maturing bulls, and changes in semen characteristics at puberty. *Theriogenology*, 1995, 43:569-578.
- Everett, R. W., B. Bean, and R. H. Foote. Sources of Variation of Semen Output. *Journal of Dairy Science* 61, no. 1 (January 1978): 90–95.

- Fernandes, C.E., M.A.N. Dode, D. Pereira, and A.E.D.F. Silva. Effects of Scrotal Insulation in Nellore Bulls (*Bos Taurus Indicus*) on Seminal Quality and Its Relationship with in Vitro Fertilizing Ability. *Theriogenology* 70, no. 9 (December 2008): 1560–68.
- Fields, M. J., W. C. Burns, and A. C. Warnick. Age, Season and Breed Effects on Testicular Volume and Semen Traits in Young Beef Bulls. *Journal of Animal Science* 48, no. 6 (1979): 1299.
- Flowers, W.L."TRIENNIAL REPRODUCTIN SYMPOSIUM: Sperm characteristics that limi success of fertilization". American Society of Animal Science, 2013 : 3022-3029.
- Foster, J., J. O. Almquist, and R. C. Martig. Reproductive Capacity of Beef Bulls. IV. Changes in Sexual Behavior and Semen Characteristics among Successive Ejaculations. *Journal of Animal Science* 30, no. 2 (February 1970): 245–52.
- Fuerst-Waltl, Birgit, Hermann Schwarzenbacher, Christa Perner, and Johann Sölkner. Effects of Age and Environmental Factors on Semen Production and Semen Quality of Austrian Simmental Bulls. *Animal Reproduction Science* 95, no. 1–2 (September 2006): 27–37.
- Fuquay, J. W. Heat Stress as It Affects Animal Production. *Journal of Animal Science* 52, no. 1 (January 1981): 164–74.
- Gerard, O, and B Khireddine. *Production de Semence Bovine - Didacticiel de Maîtrise de La Reproduction Des Bovins*. Vol. 73 p., 2002.
- Ghasemi, M.V, and A Ghorbani. "Environmental and Genetic Factors Affecting on Semen Quality in Iranian Holstein Bulls." *Iranian Journal of Applied Animal Science* 4, no. 1 (2014): 33–37.
- Gomes, W. R., W. R. Butler, and A. D. Johnson. Effect of Elevated Ambient Temperature on Testis and Blood Levels and in Vitro Biosynthesis of Testosterone in the Ram. *Journal of Animal Science* 33, no. 4 (October 1971): 804–7.
- Hansen, PJ. Effects of heat stress on mammalian reproduction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, no.1534 (November 2009). Vol. 364, p. 3341-3350.
- Heuer, C., M. N. Tahir, and H. Amjad. Effect of Season on Fertility of Frozen Buffalo Semen. *Animal Reproduction Science* 13, no. 1 (March 1, 1987): 15–21.
- Hillman PE, Lee CN, Carpenter JR, Baek KS, Parkhurst A. 2001. Impact of hair color on thermoregulation of dairy cows to direct sunlight. Presented at ASABE Annu. Meet., Paper No. 014031, St. Joseph, MI
- Hochereau, M. T. et al. – Durée de la spermatogénèse chez le taureau : étude par autoradiographie testiculaire. 5th. Int. Congr. Anim. Reprod. Artif. Insem. 1964. 3 :541.

Hochereau-de Reviers, M. T., A. Locatelli, C. Perreau, C. Pisselet, and B. P. Setchell. Effects of a Single Brief Period of Moderate Heating of the Testes on Seminiferous Tubules in Hypophysectomized Rams Treated with Pituitary Extract. *Journal of Reproduction and Fertility* 97, no. 2 (March 1993): 381–87.

Igboeli, G., and A. M. Rakha. Seasonal Changes in the Ejaculate Characteristics of Angoni (Short Horn Zebu) Bulls. *Journal of Animal Science* 33, no. 3 (September 1971): 651–54.

Igna, Violeta, A Moje, C Mircu, M Roman, C Ghiurca, Delia Casalean, and H Cernescu. The influence of some environmental factors and age on semen production of fleckvieh bulls, 2010.

Institut de l'élevage. Dispositif Génétique : Chiffres Clés Ruminants 2015

Januskauskas, A., J. Gil, H. Rodriguez-Martínez, L. Söderquist, and N. Lundeheim. Effects of a Brief Elevation of Scrotal Temperature on the Post-thaw Viability of Bull Semen. *Reproduction in Domestic Animals* 30, no. 5 (October 1, 1995): 271–77.

Johnston, J. E., H. Naelapaa, and J. B. Frye. Physiological Responses of Holstein, Brown Swiss and Red Sindhi Crossbred Bulls Exposed to High Temperatures and Humidities. *Journal of Animal Science* 22, no. 2 (1963): 432.

Kastelic, J. P. Male Involvement in Fertility and Factors Affecting Semen Quality in Bulls. *Animal Frontiers* 3, no. 4 (October 1, 2013): 20–25.

Kendall, P. E., and J. R. Webster. 2009. Season and physiological status affects the circadian body temperature rhythm of dairy cows. *Livest. Sci.* 125:155–160.

Killian G.J., Amann R.P.. Reproductive capacity of dairy bulls. IX. Changes in reproductive organ weights and semen characteristics of Holstein bulls during the first weeks after puberty. *Journal of Dairy Science*, 1972, 55(11):1631-5

Koivisto, Mb, Mta Costa, Shv Perri, and Wrr Vicente. The Effect of Season on Semen Characteristics and Freezability in *Bos Indicus* and *Bos Taurus* Bulls in the Southeastern Region of Brazil. *Reproduction in Domestic Animals* 44, no. 4 (August 2009): 587–92.

Komisrud, E., Andersen Berg, K., 1996. The influence of duration of sexual preparation on bovine semen characteristics and fertility rates. *Reprod. Domest. Anim.* 31, 369–371.

Koonjaenak, Seri, Vichai Chanatinart, Suneerat Aiumlamai, Tanu Pinyopumimintr, and Heriberto Rodriguez-Martinez. Seasonal Variation in Semen Quality of Swamp Buffalo Bulls (*Bubalus Bubalis*) in Thailand. *Asian Journal of Andrology* 9, no. 1 (January 2007): 92–101.

- Lunstra D.D., Echternkamp S.E., Puberty in beff bulls: acrosome morphology and smen quality in bulls of differen breeds. *Journal of Animal Science*, 1982, 55:638-648.
- Makulska, J., Ch. Hagger, N. Künzi, and H.u. Kupferschmied. Genetic and Environmental Influences on Semen Traits in A.I. Bulls. *Reproduction in Domestic Animals* 28, no. 4 (August 1, 1993): 279–84.
- Mathevon, M., M. M. Buhr, and J. C. Dekkers. Environmental, Management, and Genetic Factors Affecting Semen Production in Holstein Bulls. *Journal of Dairy Science* 81, no. 12 (December 1998): 3321–30.
- Meyerhoeffer, D. C., R. P. Wettemann, S. W. Coleman, and M. E. Wells. Reproductive Criteria of Beef Bulls during and after Exposure to Increased Ambient Temperature. *Journal of Animal Science* 60, no. 2 (February 1985): 352–57.
- Meyer - Les variations saisonnières de la reproduction des bovins domestiques en zone tropicale-Synthèse, 2009
- Minton JE, Wettemann RP, Meyerhoeffer DC, Hintz RL, Turman EJ. Serum luteinizing hormone and testosterone in bulls during exposure to elevated ambient temperature. *J Anim Sci*. 1981 Dec;53(6):1551-8.
- Misra, M.S. and Sengupta, B.P., 1965. Climatic environment and reproductive behaviour of buffaloes.III. Observation on semen quality of buffalo bulls maintained under two different housing conditions. *Indian J. Dairy Sci.*, 18: 130-133
- Nichi, M., P.E.J. Bols, R.M. Züge, V.H. Barnabe, I.G.F. Goovaerts, R.C. Barnabe, and C.N.M. Cortada. Seasonal Variation in Semen Quality in *Bos Indicus* and *Bos Taurus* Bulls Raised under Tropical Conditions. *Theriogenology* 66, no. 4 (September 2006): 822–28.
- Parkinson, T. J. Seasonal Variations in Semen Quality of Bulls: Correlations with Environmental Temperature. *The Veterinary Record* 120, no. 20 (May 15, 1987): 479–82.
- J Pezon, 2015. Ne sous-estimez pas le stress thermique en période estivale. *L'éleveur laitier*, 2015.
- Rahman, Mohammad Bozalur, Leen Vandaele, Tom Rijsselaere, Dominiek Maes, Maarten Hoogewijs, Adrie Frijters, Jakomien Noordman, et al.. Scrotal Insulation and Its Relationship to Abnormal Morphology, Chromatin Protamination and Nuclear Shape of Spermatozoa in Holstein-Friesian and Belgian Blue Bulls. *Theriogenology* 76, no. 7 (October 2011): 1246–57.
- Rao, A.r, and A Bane. Incidence of Sperm Abnormalities in Infertile Bulls with Testicular Degeneration. *Indian Veterinary Journal*, 1985.

- Rhynes, W. E., and L. L. Ewing. Testicular Endocrine Function in Hereford Bulls Exposed to High Ambient Temperature. *Endocrinology* 92, no. 2 (February 1973): 509–15.
- Ritesh Tiwari, G.K. Mishra, M K Shukla, R B Singh, S K Saxena, and M U Siddiqui. Seasonal variations in semen production of murrh buffalo bulls. *Indian Journal of Animal Reproduction* 32 (2) : Dec 2011, October 12, 2011.
- Sagdeo, L. R., A. B. Chitnis, and A. S. Kaikini. Effect of Seasonal Variations on Freezability of Surti Buffalo Bull Semen. *Indian Journal of Animal Reproduction*, August 15, 1991.
- Salah, M. S., F. D. El-Nouty, M. R. Al-hajri, and H. H. Mogawer. Effect of Season on Seminal Characteristics of Holstein Bull under Semi-Arid Environment I. Biophysical Characteristics. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 5, no. 3 (September 1, 1992): 439–47.
- Sanchez W.K., Mc Guire M.A., Beede D.K. Macro-mineral nutrition by heat stress interactions in dairy cattle : review and original research. *Journal of Dairy Science*. 1994. 77: 2051-2079.
- Setchell, B. P., A. Locatelli, C. Perreau, C. Pisselet, I. Fontaine, C. Kuntz, J. Saumande, J. Fontaine, and M. T. Hochereau-de Reviere. The Form and Function of the Leydig Cells in Hypophysectomized Rams Treated with Pituitary Extract When Spermatogenesis Is Disrupted by Heating the Testes. *The Journal of Endocrinology* 131, no. 1 (October 1991): 101–12.
- Setchell B.P. Heat and the testis. *Journal of Reproduction and fertility* (1998), 114: 179-194.
- Snoj, T., S. Kobal, and G. Majdic. Effects of Season, Age, and Breed on Semen Characteristics in Different Bos Taurus Breeds in a 31-Year Retrospective Study. *Theriogenology* 79, no. 5 (March 2013): 847–52.
- Stälhammar E.M., Janson L., Philipsson J. Genetic studies on fertility in A.I. bulls. I. age, season and genetic effects on semen characteristics in young bulls. *Animal Reproduction Science*, 19 (1989), 1-17.
- Taylor, J. F., B. Bean, C. E. Marshall, and J. J. Sullivan. Genetic and Environmental Components of Semen Production Traits of Artificial Insemination Holstein Bulls. *Journal of Dairy Science* 68, no. 10 (October 1, 1985): 2703–22.
- Teixeira, H.C.A., N.V. Nascimento, C. McManus, A.A. Egito, A. da S. Mariante, and A.F. Ramos. Seasonal Influence on Semen Traits and Freezability from Locally Adapted Curraleiro Bulls. *Animal Reproduction Science* 125, no. 1–4 (May 2011): 56–61.

- Tuli, R. K., and M. Singh. Seasonal Variation in Freezability of Buffalo Semen. *Theriogenology* 20, no. 3 (September 1983): 321–24.
- Vogler, C.J., Saacke, R.G., Bame, J.H., Dejarnette, J.M., McGilliard, M.L. Effects of Scrotal Insulation on Viability Characteristics of Cryopreserved Bovine Semen. *Journal of Dairy Science*, no. 11 (November 1991). Vol.74, p.3827-3835.
- Weisgold A.D., Almquist J.O. Reproductive capacity of beef bulls. VI. Daily spermatozoal production, spermatozoal reserves and dimensions and weight of reproductive organs. *Journal of Animal Science*, 1979, 48(2): 351-8
- Wolf, F. R., J. O. Almquist and E. B. Hale. Prepuberal behavior and puberal characteristics of beef bulls on high nutrient allowance. 1965, *J. Anita. Sc.* 24: 761.
- Young WC. The influence of high temperature on the guinea pig testis. Histologic changes and effects on reproduction *Journal of Experimental. Zoology* 49 459-499, 1927.
- Younis, M., H.A. Samad, Nazir Ahmad, and C.S Ali. Effect of age and breeding season on the freezability of buffalo bull semen, 1998, *Pakistan Vet Journal* edition.
- Zimbelman R.B., Rhoads R.P., Baumgard L.H. and Collier R.J. Revised temperature humidity index (THI) for high producing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 2009, 92. E-Suppl. 1:347

Toulouse, Septembre 2017

NOM : GARRIGUE

PRENOM : Maëlys

TITRE : EFFET DU STRESS THERMIQUE SUR LES PARAMETRES SEMINOLOGIQUES DE TAUREAUX DE CENTRES D'INSEMINATION

RESUME :

En élevage bovin, la fonction de reproduction est altérée chez les femelles et chez les mâles exposés à un stress thermique important. L'objectif de cette étude était d'évaluer les effets du stress thermique sur les paramètres séminologiques de 674 taureaux de races laitières (18 824 éjaculats récoltés) et 225 taureaux de races allaitantes (23 160 éjaculats récoltés), à partir des fichiers de collecte de sperme de deux centres de collecte de semence d'AURIVA, situés à Soual, dans le Tarn, région caractérisée par un climat tempéré et des étés chauds sur la période de 2002 à 2012. Des modèles de régression linéaire ont permis d'analyser l'effet de la composante de THI désaisonnalisée sur les paramètres séminologiques. Chez les taureaux jeunes (<15 ou 30 mois en races laitières et 24-36 mois en races allaitantes, le stress thermique a eu un effet délétère sur la production de spermatozoïdes et sur la motilité ainsi que sur le volume de l'éjaculat. Cet effet a varié en fonction de la race. Ainsi, le nombre de doses produites par éjaculat est moins important en période estivale, notamment lors de canicule. Cette étude montre l'importance de mettre en place des stratégies de lutte contre le stress thermique dans les centres de collecte de semence bovine en France, afin de limiter ses effets sur la reproduction.

Mots clés : stress thermique, fertilité, taureau, sperme, paramètres séminologiques, insémination.

ENGLISH TITLE: EFFECT OF HEAT STRESS ON THE SEMEN PARAMETERS OF BULLS FROM INSEMINATION CENTER

ABSTRACT:

In bovine cattle, reproductive performance is reduced in females and males exposed to important heat stress. The aim of this study was to evaluate the effect of heat stress on the semen parameters of 674 dairy breed bulls (18 824 ejaculates collected) and 225 beef bulls (23 160 ejaculates collected), from collection data of two AURIVA insemination centers, situated in Soual, Tarn, a region characterized by moderate climate of temperate latitude and hot summers, between 2002 and 2012. Linear regression models permitted to test the effects of seasonally adjusted THI component on semen parameters. In insemination bulls, heat stress can have a deleterious effect on sperm production and motility and on sperm volume. This effect varied according to breed. Thus, the number of insemination straws produced is less important during the hottest months, in particular during scorching heat. This study shows the need to develop management strategies against heat stress in French bovine insemination centers to mitigate their effect on reproduction.

Key words: heat stress, fertility, bulls, sperm, semen parameters, insemination