



HAL
open science

Relation entre stress thermique et performances de reproduction en élevage bovin laitier : étude préliminaire à travers l'exemple d'un élevage en région Île-de-France

Mathilde Havret

► To cite this version:

Mathilde Havret. Relation entre stress thermique et performances de reproduction en élevage bovin laitier : étude préliminaire à travers l'exemple d'un élevage en région Île-de-France. Médecine vétérinaire et santé animale. 2022. dumas-03822536

HAL Id: dumas-03822536

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03822536>

Submitted on 20 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année 2022

**RELATION ENTRE STRESS THERMIQUE DE CHALEUR ET
PERFORMANCES DE REPRODUCTION EN ÉLEVAGE
BOVIN LAITIER : ÉTUDE PRÉLIMINAIRE À TRAVERS
L'EXEMPLE D'UN ÉLEVAGE EN RÉGION ÎLE-DE-FRANCE**

THÈSE

pour obtenir le diplôme d'État de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

la Faculté de Médecine de Créteil (UPEC)

le 13 janvier 2022

par

Mathilde, Catherine HAVRET

sous la direction de

Vincent MAUFFRÉ

JURY

Présidente du jury :	Mme Julie RIVIÈRE	Maître de Conférences à l'EnvA, HDR
Directeur de thèse :	M. Vincent MAUFFRÉ	Maître de Conférences à l'EnvA
Examinatrice 1 :	Mme Bénédicte GRIMARD-BALLIF	Professeure à l'EnvA

Liste des personnes intervenant dans l'enseignement



Directeur : Pr Christophe Degueurce
 Directeur des formations : Pr Henry Chateau
 Directrice de la scolarité et de la vie étudiante : Dr Catherine Colmin

Professeurs émérites : Pr Pascal Fayolle, Pr Bernard Paragon
 Directeurs honoraires : MM. les Professeurs C. Pilet, B. Toma, A.-L. Parodi, R. Moraillon, J.-P. Cotard, J.-P. Mialot & M. Gogny

Département d'Élevage et de Pathologie des Équidés et des Carnivores (DEPEC)

Chef du département : Pr Grandjean Dominique - Adjoint : Pr Blot Stéphane

<p>Discipline : anesthésie, réanimation, urgences, soins intensifs - Pr Verwaerde Patrick</p> <p>Discipline : cardiologie - Pr Chetboul Valérie - Dr Saponaro Vittorio, Praticien hospitalier contractuel</p> <p>Discipline : nouveaux animaux de compagnie - Dr Pignon Charly, Ingénieur de recherche - Praticien hospitalier - Dr Volait Laetitia, Praticienne hospitalier contractuelle</p> <p>Discipline : dermatologie - Dr Cochet-Faivre Noëlle, Praticienne hospitalier contractuelle</p> <p>Discipline : ophtalmologie - Dr Chahory Sabine, Maître de conférences</p> <p>Unité pédagogique de clinique équine - Pr Audigié Fabrice - Dr Bertoni Lélia, Maître de conférences - Dr Coudry Virginie, Praticienne hospitalier contractuelle - Pr Denoix Jean-Marie - Dr Giraudet Aude, Ingénieure de recherche - Praticienne hospitalier - Dr Jacquet Sandrine, Ingénieure de recherche - Praticienne hospitalier - Dr Mespouhès-Rivière Céline, Ingénieure de recherche-Praticienne hospitalier* - Dr Moiroud Claire, Praticienne hospitalier contractuelle - Dr Tallaj Amélie, Praticienne hospitalier contractuelle - Dr Tanquerel Ludovic, Chargé d'enseignement contractuel</p>	<p>Unité pédagogique de médecine et imagerie médicale - Dr Benckroun Ghita, Maître de conférences - Pr Blot Stéphane* - Dr Canonne-Guibert Morgane, Maître de conférences - Dr Freiche-Legros Valérie, Praticienne hospitalier contractuelle - Dr Maurey-Guéneq Christelle, Maître de conférences - Dr Mortier Jérémie, Maître de conférences associé</p> <p>Unité pédagogique de médecine de l'élevage et du sport - Dr Cabrera Gonzales Joaquin, Chargé d'enseignement contractuel - Pr Fontbonne Alain - Pr Grandjean Dominique* - Dr Maenhoudt Cindy, Praticienne hospitalier contractuelle - Dr Nudelmann Nicolas, Maître de conférences - Dr Ribeiro dos Santos Natalia, Praticienne hospitalier contractuelle</p> <p>Unité pédagogique de pathologie chirurgicale - Dr Decambon Adeline, Maître de conférences - Pr Manassero Mathieu - Dr Maurice Emeline, Assistante d'Enseignement et de Recherche Contractuelle - Pr Viateau-Duval Véronique*</p>
--	---

Département des Productions Animales et de Santé Publique (DPASP)

Chef du département : Pr Millemann Yves - Adjoint : Pr Dufour Barbara

<p>Unité pédagogique d'hygiène, qualité et sécurité des aliments - Dr Bolnot François, Maître de conférences* - Pr Cartier Vincent - Dr Gauthier Michel, Maître de conférences associé - Dr Mtimet Narjes, Chargée d'enseignement contractuelle</p> <p>Unité pédagogique de maladies réglementées, zoonoses et épidémiologie - Dr Crozet Guillaume, Chargé d'enseignement contractuel - Pr Dufour Barbara* - Dr Guétin Poirier Valentine, Chargée d'enseignement contractuelle - Pr Haddad/Hoang-Xuan Nadia - Dr Rivière Julie, Maître de conférences</p> <p>Unité pédagogique de pathologie des animaux de production - Pr Adjou Karim - Dr Belbis Guillaume, Maître de conférences* - Dr Delsart Maxime, Maître de conférences associé - Pr Millemann Yves - Dr Plassard Vincent, Praticien hospitalier contractuel - Dr Ravary-Plumioën Bérange, Maître de conférences</p>	<p>Unité pédagogique de reproduction animale - Dr Constant Fabienne, Maître de conférences* - Dr Denis Marine, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Desbois Christophe, Maître de conférences (rattaché au DEPEC) - Dr Mauffré Vincent, Maître de conférences</p> <p>Unité pédagogique de zootechnie, économie rurale - Dr Arné Pascal, Maître de conférences - Dr Barassin Isabelle, Maître de conférences - Dr De Paula Reis Alline, Maître de conférences* - Pr Grimard-Ballif Bénédict - Pr Ponter Andrew</p> <p>Rattachée DPASP - Dr Wolgust Valérie, Praticienne hospitalier contractuelle</p>
---	--

Département des Sciences Biologiques et Pharmaceutiques (DSBP)

Chef du département : Pr Desquilbet Loïc - Adjoint : Pr Pilot-Storck Fanny

<p>Unité pédagogique d'anatomie des animaux domestiques - Pr Chateau Henry - Pr Crevier-Denoix Nathalie - Pr Robert Céline*</p> <p>Unité pédagogique de bactériologie, immunologie, virologie - Pr Boulouis Henri-Jean - Pr Eloit Marc - Dr Lagrée Anne-Claire, Maître de conférences - Pr Le Poder Sophie - Dr Le Roux Delphine, Maître de conférences*</p> <p>Unité pédagogique de biochimie, biologie clinique - Pr Bellier Sylvain* - Dr Deshuillers Pierre, Maître de conférences</p> <p>Unité pédagogique d'histologie, anatomie pathologique - Dr Cordonnier-Lefort Nathalie, Maître de conférences - Pr Fontaine Jean-Jacques - Dr Jouvion Grégory, Professeur associé - Dr Reyes-Gomez Edouard, Maître de conférences*</p> <p>Unité pédagogique de management, communication, outils scientifiques - Mme Conan Muriel, Professeur certifié (Anglais) - Pr Desquilbet Loïc, (Biostatistique, Epidémiologie) - Dr Legrand Chantal, Maître de conférences associée - Dr Marnac Geneviève, Maître de conférences* - Dr Rose Hélène, Maître de conférences associée</p>	<p>Unité de parasitologie, mycologie - Dr Blaga Radu, Maître de conférences (rattaché au DPASP) - Pr Guillot Jacques - Dr Polack Bruno, Maître de conférences* - Dr Risco-Castillo Veronica, Maître de conférences</p> <p>Unité pédagogique de pharmacie et toxicologie - Dr Kohlhauer Matthias, Maître de conférences - Dr Perrot Sébastien, Maître de conférences* - Pr Tissier Renaud</p> <p>Unité pédagogique de physiologie, éthologie, génétique - Dr Chevallier Lucie, Maître de conférences (Génétique) - Dr Crépeaux Guillemette, Maître de conférences (Physiologie, Pharmacologie) - Pr Gilbert Caroline (Ethologie) - Pr Pilot-Storck Fanny (Physiologie, Pharmacologie) - Pr Turet Laurent (Physiologie, Pharmacologie)* - Dr Titeux Emmanuelle (Ethologie), Praticienne hospitalier contractuelle</p> <p>Rattachée DSBP - Mme Dalaine Stéphanie, Professeur agrégée (Sciences de la Vie et de la Terre)</p> <p>* responsable d'unité pédagogique</p>
---	--

Remerciements

A Mme Julie RIVIERE, Président du Jury de cette thèse, Maitre de conférence (HDR) à l'EnvA,

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Hommages respectueux.

A M. Vincent MAUFFRE, Maitre de conférences à l'EnvA,

Qui nous a proposé ce sujet et a accepté d'encadrer ce travail, pour ses conseils et encouragements au cours de sa réalisation.

Mes sincères remerciements.

A Mme Bénédicte GRIMARD, Professeur à l'EnvA,

Pour avoir accepté de participer à ce jury de thèse.

Mes sincères remerciements.

A l'équipe de la Ferme de Grignon, et en particulier M. Pierre-Henri POMPORT,

Pour m'avoir accueillie, et fournir les documents et données nécessaires à la réalisation de ce travail

Mes sincères remerciements.

A mes parents, sans l'amour et le soutien desquels je n'en serais pas là aujourd'hui.

A mes frères, dont les idées m'ont parfois évité de longues heures d'errance.

A ma famille, merci pour votre présence tant dans les bons moments que les plus pénibles.

A l'équipe de la SELARL Vétérinaires du Val d'Allier, pour votre compréhension et votre soutien.

A mes amis, d'Auvergne, d'Ile-de-France, ou d'ailleurs.

A Fabien, merci pour ton soutien sans faille au cours de ces dernières semaines, tu as contribué à ce travail bien plus que tu ne voudrais l'admettre.

Table des matières

Liste des figures.....	3
Liste des tableaux	5
Liste des abréviations	7
Introduction	9
Première partie : étude bibliographique.....	11
I. Physiologie de la reproduction dans l'espèce bovine	11
A. <i>Le cycle de la vache</i>	11
1. Rappels anatomiques concernant le tractus génital et l'axe hypothalamo-hypophysaire.....	11
2. Schéma général du cycle de la vache.....	15
3. Régulation du cycle de la vache	16
B. <i>Cas particulier de la période post-partum</i>	17
1. Problématique et contrôle hormonal de la période post-partum.....	17
2. Importance d'une bonne reprise de la cyclicité	18
C. <i>Insémination, fécondation, implantation et gestation</i>	18
II. Gestion zootechnique de la reproduction en l'élevage laitier.....	20
A. <i>Impact de l'alimentation sur la reproduction</i>	20
1. Effet de l'alimentation sur la régulation hormonale de la fonction de reproduction	21
2. Effets de l'alimentation sur l'immunité et la santé utérine.....	21
3. Cétose, lipidose hépatique et excès de masse grasseuse, facteurs de risque d'infertilité	21
4. Impact d'un déséquilibre protéique sur la reproduction.....	23
5. Importance d'un apport oligo-vitaminique adapté	23
B. <i>Les principes zootechniques de la reproduction en élevage bovin laitier</i>	23
1. Principaux facteurs impactant les performances de reproduction en élevage	23
2. Importance économique des performances de reproduction optimales	24
3. Importance d'une bonne détection des chaleurs.....	25
C. <i>Indicateurs utilisés pour évaluer les performances de reproduction à l'échelle du troupeau en élevage laitier</i>	25
1. Fécondité	25
2. Fertilité	25
3. Taux d'avortement	25
D. <i>Le suivi de reproduction, principes et intérêts</i>	26
1. Intérêt du suivi de reproduction.....	26
2. Les différentes catégories d'animaux à prendre en compte dans un suivi de reproduction	26
3. L'examen gynécologique dans le cadre du suivi de reproduction	27
III. Stress thermique et son impact en élevage bovin laitier	29
A. <i>Définition de la notion de stress thermique</i>	29
B. <i>Impact du stress thermique en élevage laitier</i>	30
1. Impact sur la prise alimentaire et l'utilisation de la ration	30
2. Impact sur la production laitière	30
3. Impact sur l'équilibre acido-basique de l'animal	31
4. Impact sur l'immunité et la santé.....	31
5. Impact sur le comportement.....	31
C. <i>Effets du stress thermique sur la reproduction chez les bovins</i>	32
1. Impact du stress thermique sur la régulation hormonale du cycle	32
2. Impact du stress thermique sur la fertilité.....	33
3. Impact du stress thermique sur la survie embryonnaire.....	33
4. Impact du stress thermique sur la durée de gestation, la taille et la santé du veau	34
5. Impact du stress thermique sur l'expression et la détection des chaleurs.....	34
D. <i>Quelques pistes d'aménagements pour limiter les effets du stress thermique en élevage laitier</i>	35
1. Adapter l'environnement de vie des animaux : le bénéfice de l'ombrage et des systèmes de refroidissement.....	35
2. Travailler sur la distribution de la ration.....	36
3. L'intérêt des traitements hormonaux.....	36

4. Aménager le travail pour un meilleur confort des animaux	36
Deuxième partie : étude expérimentale	39
I. Introduction	39
II. Matériels et méthodes	39
A. <i>Présentation de l'élevage d'étude</i>	39
B. <i>Données utilisées dans le cadre de cette étude</i>	40
1. Données d'élevage	40
2. Données météorologiques	41
3. Exploitation des données	41
III. Résultats	42
A. <i>Présentation de l'échantillon</i>	42
B. <i>Etude de l'effet du stress thermique sur la réussite de l'insémination</i>	43
1. Effet d'un épisode de stress thermique d'au moins une journée avec THI > 70 dans les 15 jours précédant l'insémination	43
2. Comparaison de l'effet de l'intensité d'un épisode de stress thermique d'au moins une journée avec THI > 70 ou THI > 80 dans les 15 jours précédant l'insémination	44
3. Comparaison de l'impact de la durée d'exposition à un épisode de stress thermique (THI > 70) dans les 15 jours précédant l'insémination sur la réussite à l'IA	45
4. Comparaison du moment de survenue de l'épisode de stress thermique (THI > 80) par rapport à l'insémination sur la réussite à l'IA	46
C. <i>Etude de l'effet du stress thermique sur les avortements précoces</i>	47
IV. Discussion	48
A. <i>Protocole</i>	48
1. Animaux	48
2. Données d'élevage	48
3. Données météorologiques	49
4. Méthodologie	49
B. <i>Résultats</i>	50
C. <i>Perspectives</i>	51
Conclusion	53
Liste des références bibliographiques	55
Annexe 1 : Tableaux de contingence des effets du stress thermique sur la réussite à l'IA...61	
Annexe 2 : Tableaux de contingence des effets du stress thermique sur la survie embryonnaire.....65	

Liste des figures

Figure 1. Evolution des températures moyennes annuelles en France métropolitaine depuis 1900 (d'après Météo France).....	9
Figure 2. Anatomie du tractus génital femelle dans l'espèce bovine (d'après Barone, 1976).....	12
Figure 3. Succession au niveau ovarien des différentes étapes de la croissance folliculaire au cours du cycle chez la vache (Peters et Ball, 1996).....	13
Figure 4. Description anatomique des structures nerveuses centrales de l'axe hypothalamo-hypophysio-gonadotrope impliquées dans le contrôle hormonal du cycle sexuel de la vache (d'après Hafez, 1993).....	14
Figure 5. Représentation schématique des différentes composantes du cycle de la vache (d'après Constant <i>et al.</i> , 2017).....	15
Figure 6. Le blastocyste et son évolution : A. Structures constituant un blastocyste ; B. Destination des différentes structures d'un blastocyste (Constant <i>et al.</i> , 2017)	19
Figure 7. Base du raisonnement pour le diagnostic du stade du cycle chez la vache (Constant <i>et al.</i> , 2017).....	28
Figure 8. THI et évaluation du stress thermique chez les vaches laitières en fonction de la température extérieure et de l'humidité relative (Verdoolaege, 2020).....	29
Figure 9. Représentation schématique des effets du stress thermique et de leurs interactions sur la reproduction (d'après Sammad <i>et al.</i> , 2020)	35
Figure 10. Palier aux effets du stress thermique (d'après Roth, 2020)	37
Figure 11. La ferme de Grignon vue du ciel (« Site web de la Ferme de Grignon », s. d.).....	40
Figure 12. Variation de THI max au cours de la période d'étude, de janvier 2014 à décembre 2018	42
Figure 13. Impact d'un épisode de stress thermique (d'une durée d'au moins une journée avec un THI supérieur à 70 dans les 15 jours précédant l'insémination) sur la réussite à l'IA	43
Figure 14. Comparaison de l'impact sur la réussite à l'IA de l'intensité (THI >70 ou THI > 80) d'un épisode stress thermique d'au moins une journée dans les 15 jours précédant l'insémination.	44
Figure 15. Comparaison de l'impact de la durée d'exposition (> 1 jour vs > 5 jours) à un épisode de stress thermique (THI > 70) dans les 15 jours précédant l'insémination sur la réussite à l'IA.....	45
Figure 16. Comparaison du moment de survenue de l'épisode de stress thermique (au moins une journée avec un THI > 80) par rapport à l'insémination sur la réussite à l'IA	46

Figure 17. Impact sur la survie embryonnaire (DG positif) de la survenue d'un épisode de stress thermique (au moins une journée avec un THI > 80) entre le diagnostic de gestation précoce (30-50 jours post IA) et la fin du premier tiers de la gestation (90 jours post IA)47

Liste des tableaux

Tableau 1. Effet de la cétose sur la reproduction (Fourichon <i>et al.</i> , 2000)	22
Tableau 2. Indicateurs pour l'estimation économique du coût de l'infécondité (Seegers, 2005)	24
Tableau 3. Caractéristiques des structures de l'appareil génital de la vache évaluables par examen visuel et transrectal au cours du cycle (d'après (Picard-Hagen <i>et al.</i> , 2012))	28
Tableau 4. Extrait des données de suivi de reproduction utilisées dans cette étude.....	40
Tableau 5. Extrait des données météorologiques utilisées dans cette étude.....	41

Liste des abréviations

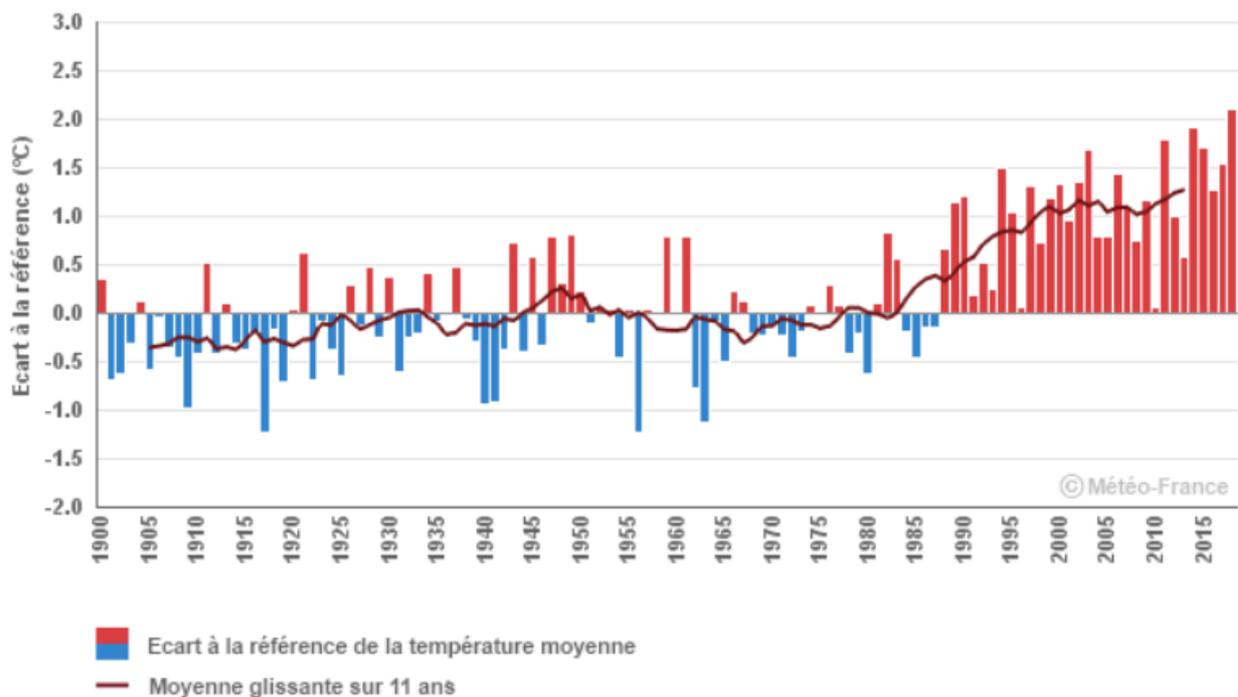
β -OH	β -hydroxybutyrate
BUN	Blood urea nitrogen (azote uréique du sang)
CJ	Corps jaune
CJG	Corps jaune à gauche
CJD	Corps jaune à droite
DG	Diagnostic de gestation
E2	Estradiol-17 β
EnvA	Ecole nationale vétérinaire d'Alfort
FSH	Follicle-stimulating hormone (hormone folliculo-stimulante)
ha	Hectares
IA1	Première insémination après vêlage
IL-8	Interleukine 8
IVIA	Intervalle vêlage-1 ^{re} insémination
IVIF	Intervalle vêlage-insémination fécondante
IVV	Intervalle vêlage-vêlage
LH	Luteinizing hormone, ou Hormone lutéinisante
GnRH	Gonadotropin-releasing hormone, ou Gonadolibérine
IA	Insémination artificielle
Inh	Inhibine
MUN	Milk urea nitrogen (azote uréique du lait)
NEC	Note d'état corporel
P4	Progestérone
PGF2 α	Prostaglandine F2 alpha
RR	Risque relatif
SNC	Système nerveux central
THI	Indice température-humidité

TRIA1	Taux de réussite en 1 ^{re} insémination
UFL	Unité Fourragère Lait
VLDL	Very Low Density Lipoprotein, ou Lipoprotéine de très basse densité

Introduction

Depuis quelques années, des périodes de forte chaleur associées à une sécheresse marquée se multiplient en France (Figure 1). Plus ou moins longues mais répétées et de forte intensité, elles représentent une menace notable pour l'agriculture telle que nous la connaissons aujourd'hui, tant en grande culture qu'en élevage. En particulier, l'alimentation des animaux est directement impactée par les pertes de rendement des productions végétales, les pâtures trop sèches... Ces températures élevées ont également un impact significatif sur la santé des animaux en élevage.

Figure 1. Evolution des températures moyennes annuelles en France métropolitaine depuis 1900 (d'après Météo France)



Nous nous proposons dans ce travail d'étudier plus précisément l'impact de ces périodes de forte chaleur sur les performances de reproduction en élevage bovin laitier, élevages où les effets du stress thermique de chaleur sont particulièrement marqués (lorsque l'on parle de stress thermique, il peut s'agir de stress en cas de températures élevées, mais aussi en cas de températures faibles¹ : nous nous focaliserons dans ce travail sur l'effet du stress thermique de chaleur, et y ferons référence par l'appellation stress thermique). Il est important de noter que c'est tout l'équilibre économique de l'élevage qui est mis en jeu en cas de mauvais résultats de reproduction, même si leur impact économique est souvent moins bien perçu par l'éleveur qu'en cas de pertes directes (mort d'un animal, baisse de production laitière...).

¹ Le stress thermique de froid est généralement considéré comme ayant un faible impact sur les ruminants sous nos latitudes (Weisslinger, 2021).

Nous rappellerons dans un premier temps les grands principes de la reproduction chez les bovins, en particulier en élevage laitier, puis nous dresserons un bilan des connaissances bibliographiques existantes à propos des conséquences du stress thermique chez les bovins. Dans un second temps, nous nous attacherons à étudier plus en détails l'impact du stress thermique sur les performances de reproduction en élevage laitier à partir des données issues d'un élevage de la région Île-de-France, situé à Grignon, dans les Yvelines (78).

Première partie : étude bibliographique

Le stress thermique et son impact en élevage sont depuis de nombreuses années étudiés dans les zones géographiques où il est très présent en raison du climat. Plus récemment, quelques études ont également été menées en France, en particulier après la canicule de 2003. Le stress thermique a ainsi de nombreux effets sur les vaches laitières au rang desquels figure une altération de la fonction de reproduction.

I. Physiologie de la reproduction dans l'espèce bovine

Contrairement à certaines espèces, la vache présente une activité sexuelle continue au cours de l'année. Elle implique de nombreux mécanismes de régulation et la mise en place d'interactions fines entre les différentes structures anatomiques impliquées.

A. Le cycle de la vache

Le cycle de la vache a une durée moyenne de 21 jours pour les vaches et de 20 jours chez la génisse (Amstalden et Williams, 2014). Il s'agit d'une série d'évènements qui se succèdent et se répètent tous les mois. Il comporte différentes composantes, on distingue ainsi : la composante comportementale, la composante ovarienne, la composante hormonale et la composante liée au tractus génital. Chacun de ces éléments connaît des variations spécifiques au cours du cycle. Après avoir présenté les principales structures anatomiques impliquées, nous décrivons les différentes composantes du cycle de la vache ainsi que les mécanismes impliqués dans la régulation de la fonction de reproduction afin de mieux comprendre ultérieurement les modalités d'altération de la fonction de reproduction induites par un stress thermique.

1. *Rappels anatomiques concernant le tractus génital et l'axe hypothalamo-hypophysaire*

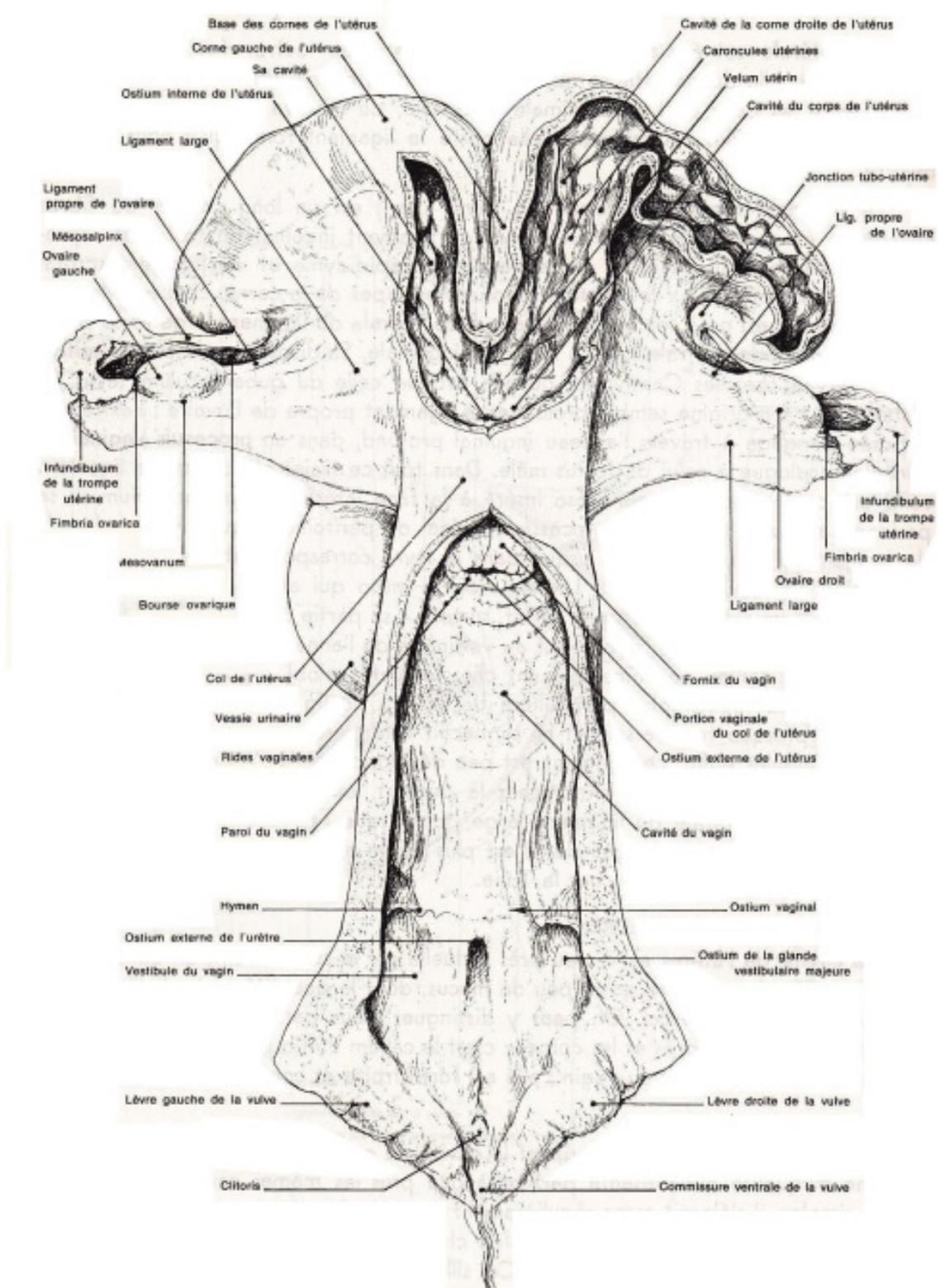
L'axe reproducteur de la vache comprend le tractus génital et une structure nerveuse centrale fondamentale située au cœur du cerveau qui est impliquée dans la régulation de la fonction de reproduction : l'axe hypothalamo-hypophysaire.

a. Le tractus génital

La vache, comme l'ensemble des mammifères, possède un tractus génital (Figure 2) comprenant une vulve, un vagin séparé de l'utérus par un col développé, quel que soit le stade du cycle, et constitué de trois anneaux cartilagineux. Le corps de l'utérus est court (4 cm environ) mais les cornes utérines sont très développées (20 à 40 cm en fonction des individus). Elles comportent trois couches : endomètre, myomètre et périmètre. Le myomètre est constitué de fibres musculaires et est impliqué dans la contraction de l'organe au moment des chaleurs (pour faire progresser les gamètes) ou au moment de la mise-bas (pour expulser le fœtus). L'endomètre comprend quant à lui un ensemble de cellules sécrétoires produisant des hormones (impliquées dans la régulation de la fonction de reproduction) et des substances nutritives pour l'embryon en début de gestation. Chez la vache, la gestation se déroule dans les cornes utérines et l'endomètre participe également à la mise en place du placenta nécessaire au développement normal du

foetus. Les cornes utérines sont séparées de l'oviducte par la jonction utéro-tubaire, lieu de stockage temporaire des spermatozoïdes au cours de la fécondation. La partie terminale de l'oviducte est le pavillon qui recouvre l'ovaire, ce qui permet de collecter l'ovocyte au moment de l'ovulation. L'ensemble du tractus génital est maintenu dans la filière pelvienne par plusieurs ligaments (Figure 2)

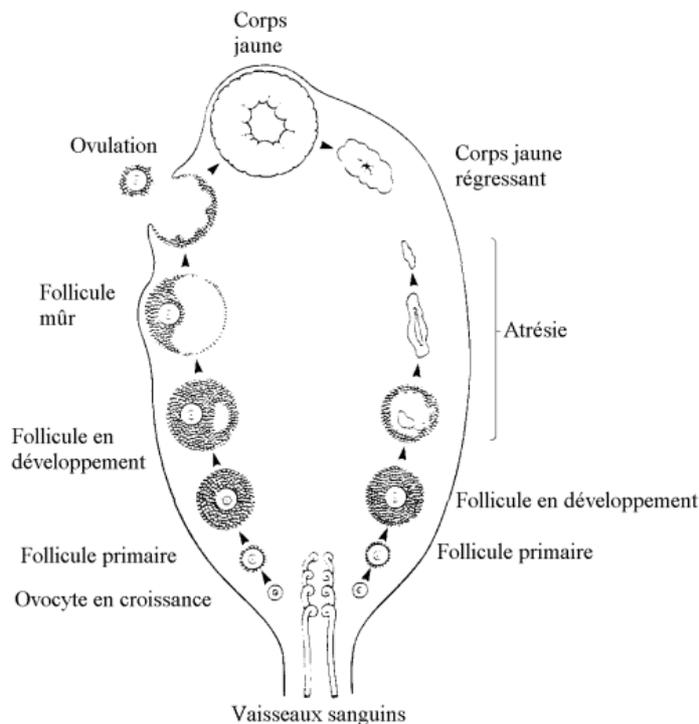
Figure 2. Anatomie du tractus génital femelle dans l'espèce bovine (d'après Barone, 1976)



L'ovaire est le site de production et de maturation des ovocytes (Figure 3). Le stock de follicules disponibles durant la vie de l'animal est généré lors du développement embryonnaire. Ainsi, à la naissance, le stock de follicules primordiaux² est intégralement constitué. La croissance folliculaire est un processus long qui permet l'obtention de follicules matures³. Ce processus comprend deux phases : une première phase de croissance dite basale, d'une durée de cinq mois, qui se déroule en l'absence de contrôles hormonaux et qui permet d'aboutir aux follicules tertiaires, et une phase de croissance rapide courte, une semaine en moyenne chez la vache, intégralement sous dépendance hormonale qui se termine en présence d'un follicule dominant. Cette phase de croissance rapide, chez la vache, porte le nom de « vague folliculaire » (Hanzen *et al.*, 2000).

Au cours du cycle, plusieurs vagues folliculaires se succèdent, chacune constituée de trois phases : recrutement, sélection et dominance. Durant les vagues folliculaires, on observe une évolution progressive du diamètre des follicules. Les follicules tertiaires entrants dans la vague folliculaire au moment du recrutement mesurent trois millimètres de diamètre environ. Leur diamètre augmente à mesure que progresse la vague folliculaire. Au moment de la sélection, une partie des follicules poursuivent leur croissance pour atteindre leur valeur maximale juste avant l'ovulation tandis que les autres subissent l'atrésie. On parle de follicule dominant à partir d'un diamètre de dix millimètres. La phase de dominance correspond à la phase de maturation de ce follicule qui, selon la présence d'un corps jaune ou non, aboutit à l'ovulation ou à l'atrésie du follicule dominant. En cas d'ovulation, le follicule ayant ovulé se transforme (Figure 3) pour donner un corps jaune (Constant *et al.*, 2017).

Figure 3. Succession au niveau ovarien des différentes étapes de la croissance folliculaire au cours du cycle chez la vache (Peters et Ball, 1996)



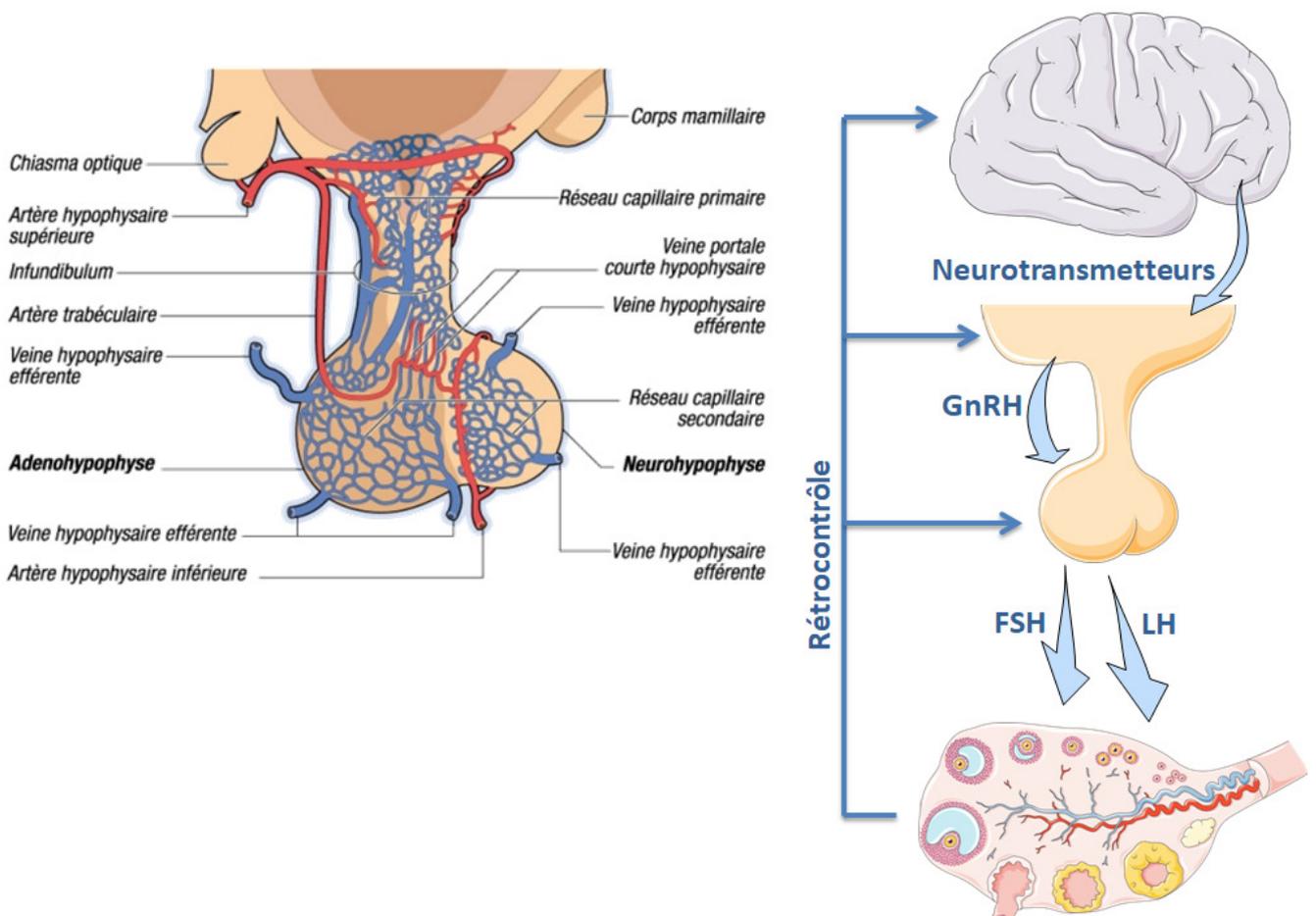
² Formes folliculaires immatures qui contiennent chacune un ovocyte primaire

³ Follicules préovulatoires contenant un ovocyte fécondable

b. L'axe hypothalamo-hypophysaire

L'autre composante majeure de l'axe reproducteur est l'axe hypothalamo-hypophysaire. Il s'agit d'une aire du cerveau située à proximité du chiasma optique (Figure 4) qui occupe un rôle central dans la régulation de la fonction de reproduction. Dans l'hypothalamus, des neurones particuliers, les neurones à GnRH, synthétisent la GnRH (gonadotropine releasing hormone ou gonadolibérine), hormone clé de la régulation de la fonction de reproduction. De par son positionnement au cœur du cerveau, cette glande endocrine particulière fait en permanence la synthèse de l'intégralité des informations sensibles (en provenance du milieu extérieur comme du milieu intérieur) disponibles pour la vache, en particulier les informations concernant les variations de température, d'hygrométrie, le bilan énergétique alimentaire... La GnRH synthétisée par l'hypothalamus est libérée dans un système vasculaire porte et stimule l'adénohypophyse qui en réponse libère deux hormones gonadotropes⁴ : FSH (hormone folliculostimulante) et LH (hormone lutéinisante). Ces deux hormones agissent sur les ovaires et sont également impliquées dans les mécanismes physiologiques de contrôle de la fonction de reproduction (Figure 4) (Leshin *et al.*, 1988).

Figure 4. Description anatomique des structures nerveuses centrales de l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadotrope impliquées dans le contrôle hormonal du cycle sexuel de la vache (d'après Hafez, 1993)



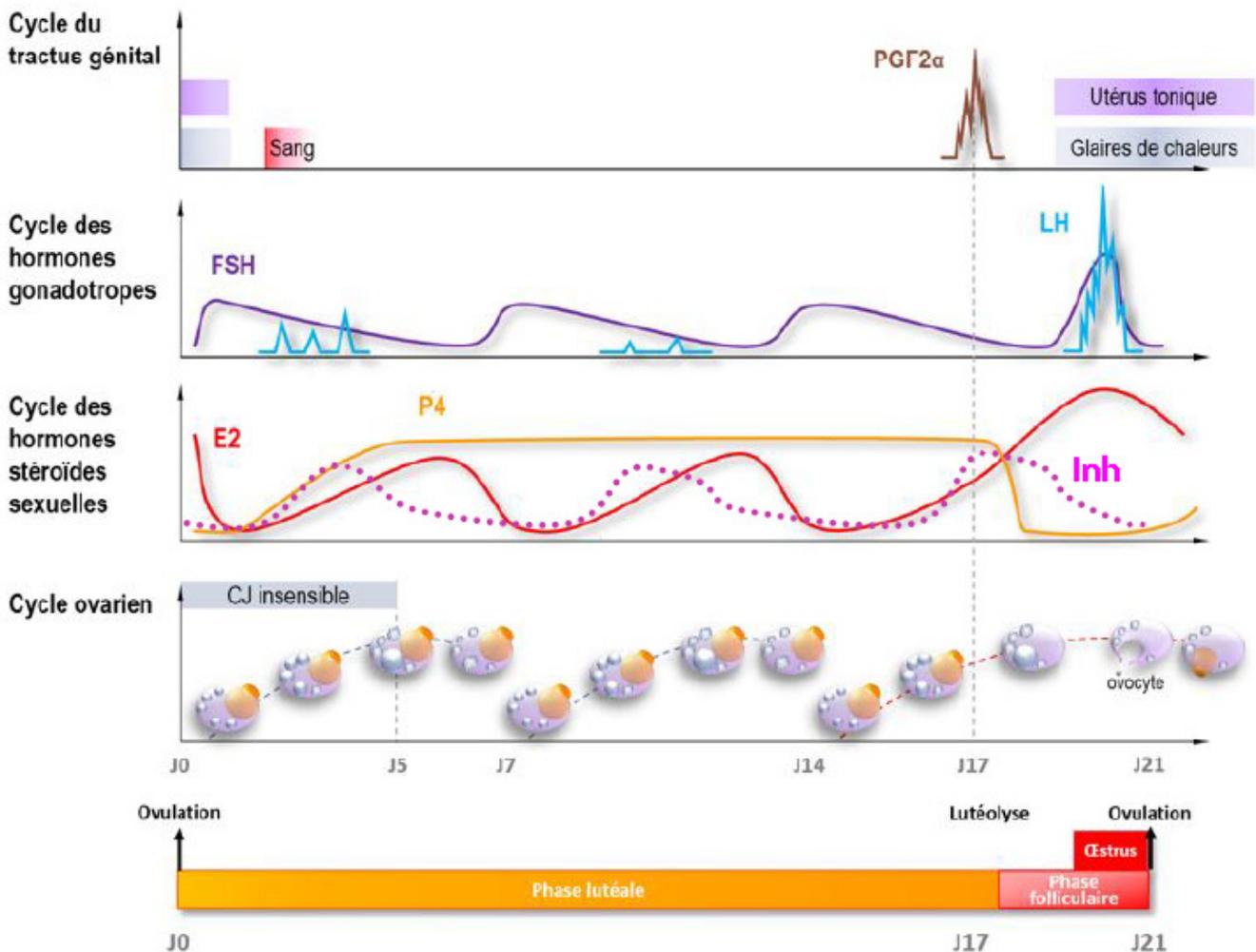
⁴ Hormones qui exercent leurs actions sur les gonades

2. Schéma général du cycle de la vache

Le cycle de la vache est défini comme la période comprise entre deux ovulations (Figure 5). Au cours du cycle, plusieurs vagues folliculaires s'enchainent (trois dans la majorité des cas, parfois deux), la dernière aboutissant à la libération d'un ovocyte destiné à être fécondé : c'est l'ovulation, définie comme étant le point de départ du cycle. La libération de cet ovocyte est précédée du comportement d'œstrus.

Deux phases se succèdent au cours du cycle ovarien : la phase lutéale durant laquelle le corps jaune est présent et la phase folliculaire comprise entre la lutéolyse⁵ et l'ovulation suivante. Durant la phase lutéale, plusieurs vagues folliculaires se succèdent, se terminant par l'atrésie du follicule dominant, tandis qu'une fois le corps jaune lysé au 17^e jour du cycle (entrée en phase folliculaire), l'ovulation devient possible.

Figure 5. Représentation schématique des différentes composantes du cycle de la vache (d'après Constant *et al.*, 2017)



PGF2 α : prostaglandines F2 α ; FSH : hormone folliculostimulante; LH : hormone lutéinisante; E2 : œstradiol 17 β ; P4 : progestérone ; Inh : inhibine.

⁵ Régression du corps jaune

L'ensemble des modifications intervenant au niveau des ovaires et du tractus génital sont finement régulées par un système hormonal complexe (Carrière, 2012).

3. Régulation du cycle de la vache

a. Généralités

La régulation du cycle sexuel de la vache implique de nombreuses hormones dont la FSH (responsable de la croissance folliculaire) et la LH (impliquée dans la sélection, la maturation, et l'ovulation) dont la libération est finement régulée par de nombreux signaux internes et environnementaux dont l'intégration intervient au niveau de l'hypothalamus. Ces hormones contrôlent à leur tour le développement folliculaire, la stéroïdogénèse⁶ et l'ovulation (Amstalden et Williams, 2014). Le mécanisme de régulation primaire s'appuie sur la GnRH (Leshin *et al.*, 1988), stockée dans des vésicules sécrétoires et libérée, sur stimulation, dans les capillaires de l'espace porte hypothalamo-hypophysaire (Figure 4). La concentration de GnRH dans cet espace régule, *via* la fixation sur ses récepteurs situés au niveau de l'adénohypophyse la synthèse et la libération de FSH et de LH.

La sécrétion de GnRH est elle-même régulée par des facteurs internes (facteurs humoraux, facteurs de croissance) et par des facteurs externes (photopériode, facteurs de stress dont le stress thermique, molécules de l'environnement). Tous ces éléments sont intégrés au niveau du système nerveux central et plus particulièrement de l'hypothalamus.

La stimulation de l'hypophyse par la GnRH entraîne la libération de LH et de FSH qui, une fois passées dans la circulation sanguine générale, se fixent au niveau des gonades, où selon les concentrations circulantes, elles peuvent stimuler la croissance et la maturation folliculaire, induire l'ovulation et stimuler la synthèse des hormones ovariennes. Ces dernières exercent un rétrocontrôle au niveau central vis-à-vis de la libération de GnRH, de LH et de FSH.

Les hormones ovariennes, œstradiol et progestérone, exercent, quant à elle un rétrocontrôle tantôt négatif, tantôt positif selon la phase du cycle, au niveau hypothalamo-hypophysaire. Ce rétrocontrôle participe aux variations de la libération de la GnRH et de la LH.

Une dernière hormone, l'inhibine, joue un rôle important dans le contrôle des vagues folliculaire, en inhibant la production de FSH. Elle est libérée par les follicules tertiaires, en concentration de plus en plus importante à mesure qu'ils se développent et est donc à la base du mécanisme de sélection (Constant *et al.*, 2017).

b. Œstrus et ovulation

L'œstrus, ou chaleurs caractérisées par des modifications comportementales plus ou moins spécifiques, est induit par une augmentation de la concentration d'œstradiol-17 β (Hansel et Convey, 1983). L'œstradiol circulant atteint un seuil qui déclenche l'œstrus 12 à 18 h plus tard. La concentration-seuil atteinte entraîne une libération massive de GnRH. Ce relargage important de GnRH dans l'espace porte hypophysaire est lui-même à l'origine d'une libération massive de LH (Rahe *et al.*, 1980). L'ovulation a lieu environ 30 heures après le début de l'œstrus et est suivie d'une chute abrupte de la concentration en œstradiol circulant (Amstalden et Williams, 2014).

⁶ Synthèse des hormones stéroïdes : progestérone et œstradiol 17 β pour la vache

c. La phase lutéale

Après l'ovulation, on observe une transformation fonctionnelle des cellules folliculaires en cellules lutéales. On parle de lutéinisation du follicule ayant ovulé qui aboutit à la formation du corps jaune. C'est le corps jaune qui permet la synthèse et la libération de progestérone. L'augmentation de la progestérone circulante est progressive et sa concentration atteint un plateau en moyenne huit jours après l'ovulation (Hansel et Convey, 1983). Durant cette phase, la progestérone exerce un rétrocontrôle négatif régulateur sur l'axe hypothalamo-hypophysaire qui se traduit par une production de GnRH et de LH moindre et donc, une absence d'ovulation. Pour autant, la LH est toujours produite, ce qui permet le maintien des vagues folliculaires mais avec atresie du follicule dominant (Amstalden et Williams, 2014)..

d. La phase folliculaire

Au 17^e jour du cycle, la libération de PGF2 α (Prostaglandine F2 alpha) par l'endomètre provoque une régression du corps jaune (lutéolyse) et donc une diminution de la concentration de progestérone circulante (Hansel et Convey, 1983). Le rétrocontrôle négatif exercé par la progestérone sur l'axe hypothalamo-hypophysaire est ainsi levé. La libération de GnRH, et donc de LH, n'étant plus limitée, le développement de la vague folliculaire en cours peut alors se poursuivre jusqu'à ovulation (Amstalden et Williams, 2014).

B. Cas particulier de la période *post-partum*

1. *Problématique et contrôle hormonal de la période post-partum*

A partir de la mise en place de la cyclicité à la puberté et en l'absence d'affection particulière, la cyclicité de la vache est continue. En cas de gestation, le corps jaune issu de l'ovulation à l'origine de la fécondation se maintient pendant toute la gestation. Durant les deux premiers tiers de la gestation, les vagues folliculaires se maintiennent également (avec atresie du follicule dominant). En fin de gestation, en raison d'un rétrocontrôle négatif important lié à la production d'hormones stéroïdes sexuelles (progestérone et œstradiol) par les ovaires et le placenta, on observe un arrêt progressif des vagues folliculaires. Au moment du vêlage, les ovaires apparaissent en « repos » apparent. La mise à la reproduction d'une femelle nécessite ainsi que la cyclicité soit restaurée suite à la pause induite par la gestation : on parle de reprise de cyclicité.

Cette reprise de cyclicité implique par conséquent une restauration de la FSH (reprise des vagues folliculaires) et de la LH (ovulation du follicule dominant). Si les vagues folliculaires n'ont besoin que de quelques jours après le vêlage pour se remettre en place, grâce à un retour à la normale rapide de la libération de FSH, la LH qui conditionne notamment l'ovulation met d'avantage de temps à se rétablir et est beaucoup plus sensible à l'état physiologique de l'animal dans les semaines suivant le vêlage (état corporel, équilibre énergétique) mais également aux conditions environnementales (Crowe *et al.*, 2014). En *post-partum*, les premières phases lutéales rencontrées sont d'abord de courte durée. En effet, il faut en moyenne trois semaines avant que le stock hypophysaire de LH ne soit rétabli, ce qui permet alors une reprise d'un profil de sécrétion normal et donc le rétablissement des cycles de 21 jours (Amstalden et Williams, 2014).

2. Importance d'une bonne reprise de la cyclicité

En élevage laitier, l'objectif agronomique usuel est de produire un veau par vache et par an pour optimiser la productivité des animaux (à moduler sur des vaches laitières hautes productrices). La gestation durant neuf mois, cela suppose une insémination fécondante entre 85 (objectifs standards) et 140 (objectif priorité à la production laitière) jours *post-partum*. Il est donc impératif qu'à ce stade, alors que la vache est à son pic de production laitière, la cyclicité soit restaurée. La première ovulation est souvent associée à des chaleurs silencieuses et la première période de chaleurs observées correspond donc à la deuxième ovulation *post-partum* (Gayraud, 2012) qui intervient neuf à onze jours après la première ovulation (Crowe *et al.*, 2014). La première ovulation a généralement lieu deux à trois semaines après le vêlage chez les laitières (Wettemann, 1980).

Cette reprise de cyclicité est donc conditionnée par un certain nombre de paramètres en *post-partum*. Les apports nutritionnels doivent bien sûr être adaptés en *peripartum*, les besoins de la vache n'étant pas les mêmes à ce stade physiologique que durant le tarissement. Le début de la lactation et l'allaitement (peu considéré du fait de la coupure du lien mère-veau à la naissance en élevage laitier) tendent à retarder la reprise de la cyclicité (Amstalden et Williams, 2014), de même qu'une NEC (note d'état corporel) trop faible au vêlage (Randel, 1981). Les primipares ont une période d'anoestrus *post-partum* plus longue que les multipares. Le niveau de production a également un impact sur la reprise de cyclicité, ainsi un niveau d'étable élevé peut être à l'origine d'un retard de la reprise de cyclicité. Il existe également un effet race sur la reprise de cyclicité (la race charolais serait ainsi plus sensible à l'anoestrus *post-partum* que les autres races allaitantes françaises (Ducrot *et al.*, 1994)). Le confort des animaux et la conception du bâtiment sont deux paramètres à considérer lors de reprise de cyclicité retardée. Les affections utérines et ovariennes sont aussi source de retard de reprise de la cyclicité. Enfin, on n'oubliera pas l'impact des conditions climatiques extrêmes qui nous intéressent dans cette étude et qui entrent aussi en compte dans les problèmes d'anoestrus (Ambrose, 2014).

Un retard dans la reprise de la cyclicité implique une remise à la reproduction tardive et donc un intervalle vêlage-vêlage allongé, ce qui pèse alors économiquement sur l'élevage (l'impact économique de mauvais résultats à la reproduction est détaillé en II.A.1).

C. Insémination, fécondation, implantation et gestation

La fenêtre optimale pour qu'il y ait fécondation suppose une insémination 12 à 24 h après le début des chaleurs (Peters et Ball, 1996). Des études plus récentes montrent qu'il serait préférable que l'insémination ait plutôt lieu entre 2-4 h et 14-18 h après le début des chaleurs chez des laitières hautes productrices, ce qui serait à mettre en relation avec la durée réduite des chaleurs et une ovulation plus précoce chez cette catégorie d'animaux (Maatje *et al.*, 1997 ; Dransfield *et al.*, 1998 ; Roelofs *et al.*, 2006).

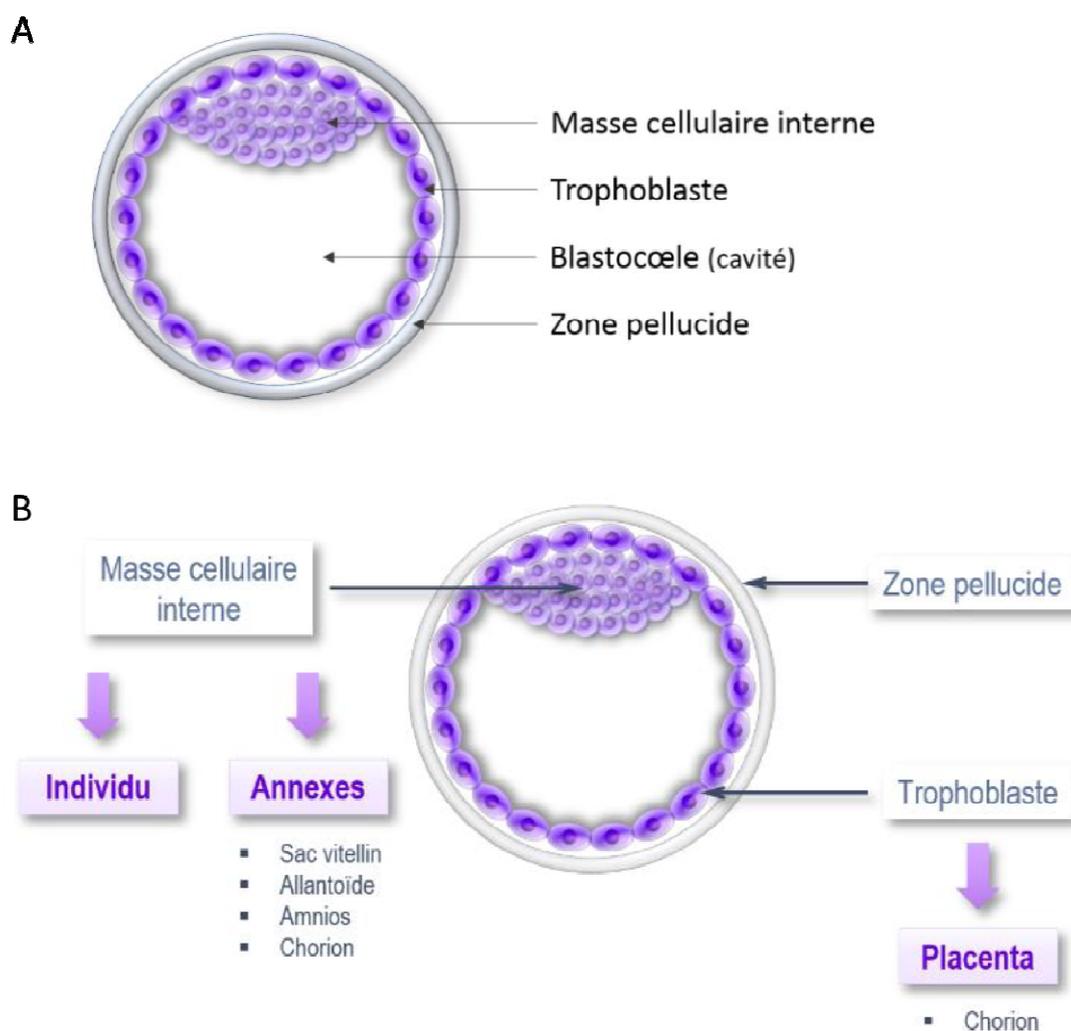
En cas de fécondation, l'embryon formé se développe pendant 18 à 20 jours à l'intérieur de la lumière de l'oviducte puis de l'utérus. Durant cette période, de nombreuses divisions cellulaires conduisent à la formation d'un blastocyste, constitué de la zone pellucide⁷ contre laquelle se

⁷ Membrane externe rigide protégeant le conceptus

développe le trophoblaste⁸ qui délimite le blastocœle⁹ et de la masse cellulaire interne¹⁰ (Figure 6.A). A ce stade, l'embryon est libre dans la lumière utérine et se nourrit des nutriments libérés dans la lumière utérine. La croissance du trophoblaste est limitée par la zone pellucide.

Suite à l'éclosion¹¹ du blastocyste, le trophoblaste connaît une importante phase de croissance en longueur, appelée élongation. Dans le même temps, la masse cellulaire interne se différencie, conduisant à la formation de trois feuillets (ectoderme, mésoderme, endoderme), qui permettent la mise en place des différentes annexes et de l'embryon (Figure 6.B) (Constant *et al.*, 2017). Pendant cette phase d'élongation, le trophoblaste synthétise l'interféron τ dans la cavité utérine. Cet interféron, par inhibition de la synthèse de $\text{PGF2}\alpha$, empêche la lutéolyse et donc l'élimination de l'embryon : c'est la reconnaissance maternelle de la gestation.

Figure 6. Le blastocyste et son évolution : A. Structures constituant un blastocyste ; B. Destination des différentes structures d'un blastocyste (Constant *et al.*, 2017)



⁸ Tissu recouvrant la zone pellucide. Au cours du développement embryonnaire, il participe à la formation du placenta et des annexes embryonnaires

⁹ Cavité ménagée par le trophoblaste à l'intérieur du zygote

¹⁰ Tissu embryonnaire à l'origine de la formation du fœtus et d'une partie des annexes embryonnaires

¹¹ Rupture de la zone pellucide

A la suite de l'implantation¹², le placenta se met progressivement en place. Chez les ruminants, le placenta est de type cotylédonaire, avec la formation de placentomes, zones d'échanges et de fixation dont la surface est démultipliée par la formation de villosités choriales¹³. Ces placentomes sont constitués par les cotylédons (face embryonnaire) et les caroncules (face maternelle) (Constant *et al.*, 2017).

La fonction de reproduction de la vache, laitière en particulier, est très sensible à de nombreux facteurs de variations qui conditionnent la gestion zootechnique des troupeaux laitiers.

II. Gestion zootechnique de la reproduction en l'élevage laitier

Le caractère dessaisonné de l'activité sexuelle de l'espèce bovine permet une certaine liberté dans le choix du schéma de reproduction de l'élevage mais impose une certaine rigueur dans les modèles les plus complexes.

A. Impact de l'alimentation sur la reproduction

Une gestion raisonnée de l'alimentation est un facteur clé de la gestion de la reproduction en élevage laitier. Un déficit énergétique se traduit par des performances dégradées dans le troupeau, mais ce n'est pas le seul facteur qui peut être mis en cause dans de telles situations.

Si l'on se réfère aux travaux de Cargile et Tracy (2014), on définit une période de transition s'étendant sur six semaines autour du part, réparties en trois semaines avant et trois semaines après la mise-bas. Cette période doit être traitée avec beaucoup d'attention, car c'est une période durant laquelle les désordres alimentaires, et les troubles métaboliques qui en découlent, peuvent être lourds de conséquences pour la mise à la reproduction suivante. Peuvent ainsi se manifester les affections suivantes : hypocalcémie puerpérale¹⁴, rétention placentaire¹⁵, cétose clinique¹⁶, métrite¹⁷, ou endométrite clinique¹⁸. Ces maladies ont un impact négatif plus ou moins considérable sur les performances à venir en matière de reproduction, que ce soit par des effets directs ou indirects. On peut notamment observer à la suite de ces troubles métaboliques une

¹² Etablissement des premiers contacts cellulaires entre l'embryon et l'endomètre qui aboutissent à la mise en place du placenta

¹³ Arborisation ramifiée du chorion ovulaire (membrane externe de l'œuf fécondé chez les mammifères placentaires) qui donnera le futur placenta

¹⁴ Aussi appelée fièvre de lait, il s'agit d'une affection métabolique induite par la forte augmentation de la demande en calcium en début de lactation. Elle se traduit par une diminution du calcium circulant et induit un ralentissement de l'ensemble des fonctions de l'animal (digestive, circulatoire...). Les animaux atteints sont souvent dans l'incapacité de se lever.

¹⁵ Défaut d'expulsion des enveloppes fœtales dans les 24 h après le part.

¹⁶ Accumulation de corps cétoniques dans l'organisme, intervenant dans le cadre d'un déficit énergétique trop élevé, le plus souvent en début de lactation. On observe chez l'animal atteint une production laitière moindre, une ingestion de la ration diminuée et une fertilité dégradée.

¹⁷ Infection *post-partum* de l'utérus, d'origine bactérienne, qui se traduit par écoulements vulvaires purulents nauséabonds et des signes cliniques généraux non spécifiques (hyperthermie, baisse de la production laitière, abattement, anorexie, coma...).

¹⁸ Inflammation de l'endomètre, plus de 21 jours après vêlage, sans impact sur la santé générale et la production de l'animal.

diminution de la qualité ovocytaire, un déséquilibre du système immunitaire ou encore une dégradation des propriétés l'endomètre.

1. Effet de l'alimentation sur la régulation hormonale de la fonction de reproduction

Un apport suffisant et équilibré est important pour assurer un contrôle hormonal adapté de la fonction de reproduction. En effet, un défaut d'apport énergétique peut être à l'origine d'un arrêt de la sécrétion de LH (McCann et Hansel, 1986). Si cette restriction reste de courte durée elle semble cependant sans influence chez les vaches, alors que les génisses sont rapidement impactées (Amstalden et Williams, 2014). Ce phénomène pourrait s'expliquer en partie par une diminution de la fréquence et de l'amplitude des pulses de GnRH (l'Anson *et al.*, 2000), ce qui induirait un moindre relargage de LH et de FSH au niveau de l'adénohypophyse comme cela a pu être observé chez le rat (Leonhardt *et al.*, 1999). L'altération de la libération de la GnRH est liée à la concentration dans le sang en nutriments (glucose, acides gras, acides aminés) et en hormones du métabolisme (leptine¹⁹, insuline²⁰, ghreline²¹).

2. Effets de l'alimentation sur l'immunité et la santé utérine

Parmi les éléments mis en avant dans les épisodes de rétention placentaire et de métrites ou d'endométrites, il apparaît qu'un défaut d'immunité pourrait être mis en cause.

Ainsi, les vaches atteintes de rétention placentaire présentent une concentration plasmatique en IL-8 (Interleukine 8) diminuée et une activité diminuée de leurs neutrophiles par rapport aux vaches ayant délivré normalement (Kimura *et al.*, 2002). Il a aussi été montré qu'une balance énergétique négative était un facteur de risque des infections utérines, les changements métaboliques associés entraînant un retard dans les mécanismes de clairance utérine et induisant un état d'inflammation chronique ce qui, à terme, peut avoir un effet négatif sur la fertilité (Swangchan-Uthai *et al.*, 2013).

Le système immunitaire est largement influencé par l'alimentation. Une balance énergétique négative, ou un défaut d'apport en nutriments, qu'il s'agisse de protéines, de minéraux ou de vitamines, sont autant de facteurs pouvant influencer négativement l'immunité autour du vêlage (Mordak et Anthony, 2015). D'après Lessard *et al.* (2004), il serait également intéressant d'apporter une ration enrichie en acides gras (de type oméga-6) durant la période de transition.

3. Cétose, lipidose hépatique et excès de masse grasseuse, facteurs de risque d'infertilité

En *peripartum*, la majorité des vaches laitière affiche une balance énergétique négative, ce qui veut dire que leur ingestion est insuffisante pour couvrir leurs besoins. La période durant laquelle les apports sont insuffisants, si elle ne peut être évitée, doit être au maximum réduite dans le temps. En effet, ce défaut d'apport est à l'origine d'un trouble métabolique connu sous le nom de cétose qui se manifeste par un excès de β -OH (bêta-hydroxybutyrate) dans le sang, résultat de la

¹⁹ Hormone de la satiété

²⁰ Hormone responsable de la régulation de la glycémie.

²¹ Hormone intervenant dans la stimulation de l'appétit, ainsi que dans la régulation du glucose et de l'insuline. Elle joue aussi un rôle dans le goût et le sommeil.

mobilisation excessive d'acides gras non estérifiés. Cette mobilisation, essentielle à la survie dans un contexte de déficit alimentaire, ne permet pas une production optimale et impacte le résultat économique de l'élevage concerné (Cargile et Tracy, 2014).

Les acides gras mobilisés sont transformés en triglycérides pour être ensuite utilisés dans les tissus ou bien dégradés pour fournir de l'énergie. La dégradation peut être totale afin de fournir de l'ATP ou partiel ce qui aboutit à la formation de cétone. Les triglycérides formés sont ensuite exportés depuis le foie vers les muscles ou autres organes en demande d'énergie, sous forme de VLDL (Very Low Density Lipoprotein). Les bovins ayant une capacité limitée de production de ces VLDL, les triglycérides en excès sont stockés dans le foie. Un stockage excessif peut conduire à un état de lipidose hépatique²² (Cargile et Tracy, 2014).

Les effets de la cétose sur les performances de reproduction d'un troupeau, présentés dans le Tableau 1 sont conséquents (Fourichon *et al.*, 2000). La fertilité est dégradée, avec un taux de réussite en IA1 (première insémination après vêlage) diminué de 3,8 %. La fécondité est également impactée négativement, avec un IVIF (intervalle vêlage-insémination fécondante) augmenté de 5,9 jours, à relier en partie à un délai avant mise à la reproduction augmenté de 2,5 jours.

Tableau 1. Effet de la cétose sur la reproduction (Fourichon *et al.*, 2000)

Définition de la cétose	Effet et intervalle de confiance à 95 %			
	IA1 (RR)	IVIA1 (j)	TRIA1 (%)	IVIF (j)
Cétose clinique	NS	+2,5 [1,0 ; 4,1]	-3,8 [-8,0 ; 0,5]	+5,9 [3,0 ; 8,8]
Corps cétoniques				
> seuil élevé	0,91 [0,73 ; 1,14]	+4,9 -	-11,3 -	-
intermédiaire	1,00 [0,96 ; 1,04]	-0,3 -	-3,5 -	NS
> seuil faible	-	+9,9 [3,9 ; 15,8]	-35,0 -	+13,2 [2,4 ; 23,9]

RR : risque relatif ; j : jours ; NS : non significatif ; IA1 : première insémination artificielle ; IVIA1 : intervalle vêlage-première insémination ; TRIA1 : taux de réussite en première IA ; IVIF : intervalle vêlage-insémination fécondante.

Cargile et Tracy (2014) conseillent deux stratégies nutritionnelles pour lutter contre la cétose et la lipidose hépatique. Une première solution réside dans l'utilisation de choline « *by-pass*²³ », qui favorise une bonne transition énergétique et limite les risques de surcharge hépatique. L'ionophore de monensin est également proposé par les auteurs, pour sa capacité à augmenter la production d'acide propionique²⁴ tout en limitant celle d'acétate et de butyrate²⁵ à travers une sélection de la flore bactérienne liée à ses propriétés antibiotiques.

²² Accumulation excessive de triglycérides dans le foie (quand plus de 5 % du poids du foie est constitué de triglycérides)

²³ Protégée de l'activité de la microflore ruminale pour n'être disponible qu'au niveau intestinal.

²⁴ Acide gras volatile issu des fermentations ruminales, précurseur du glucose

Nous ajouterons que des apports alimentaires excessifs sont tout aussi néfastes. Une vache présentant une NEC trop élevée au moment du vêlage (supérieure à 3,75 sur une échelle de 1 à 5) connaît en moyenne un délai de conception plus élevé qu'une vache présentant une NEC comprise entre 3 et 3,25 (Gillund *et al.*, 2001 ; Cargile et Tracy, 2014).

4. Impact d'un déséquilibre protéique sur la reproduction

Le BUN (Blood urea nitrogen ou azote uréique du sang) est un paramètre dosable dans le sang qui permet de mesurer l'excès d'apport protéique par la mesure d'un de ses métabolites, l'urée. Le MUN (Milk urea nitrogen ou azote uréique du lait), dosable lui dans le lait, est lié au BUN. Plus le MUN est élevé, plus les chances qu'une vache laitière soit gestante sont faibles (Rajala-Schultz *et al.*, 2001), ce qui illustre l'importance de l'équilibre protéique de la ration. Or, les effets d'une azotémie excessive sont multiples : altération du développement de l'ovocyte, déséquilibre de l'environnement intra-utérin (Ocon et Hansen, 2003) et défauts dans le développement embryonnaire préimplantatoire (Hammon *et al.*, 2000).

Une ration bien équilibrée d'un point de vue protéique est donc essentielle pour optimiser les résultats de mise à la reproduction. On s'attachera donc à limiter le taux de protéines brutes tout en assurant des apports équilibrés²⁶ permettant un niveau de production satisfaisant (Cargile et Tracy, 2014).

5. Importance d'un apport oligo-vitaminique adapté

Les oligo-éléments et vitamines jouent un rôle clef dans la fertilité des animaux. On peut en particulier évoquer le rôle complémentaire du sélénium et de la vitamine E, dont l'action anti-oxydante a un effet positif sur la fécondation, tandis que la vitamine A intervient positivement sur l'ovulation et les manifestations œstrales, mais aussi sur la fécondation, puis l'implantation (Segerson *et al.*, 1977). La vitamine A et la vitamine E doivent donc impérativement être apportées en quantité suffisante, or les fourrages n'en constituent souvent pas une source suffisante. Quant à la vitamine D, les bovins sont capables de la synthétiser, mais il est souvent préférable de les compléter malgré tout à hauteur de 20 000 à 30 000 UI/jour (Cargile et Tracy, 2014).

B. Les principes zootechniques de la reproduction en élevage bovin laitier

1. Principaux facteurs impactant les performances de reproduction en élevage

Diverses causes peuvent être à l'origine d'une dégradation des résultats de reproduction en élevage laitier. Parmi ces causes figurent : les modalités de conduite de la reproduction (existence ou non de supports écrits permettant de référencer les chaleurs et inséminations pour chaque animal présent, nombre de personnes intervenant dans le cadre de la surveillance des animaux pour l'observation des chaleurs et l'insémination...), les périodes d'observation des animaux et leur répartition dans la journée, le taux de primipares²⁷, la qualité de la ventilation des bâtiments, la qualité de la ration et la santé des animaux (Brongniart *et al.*, 1998). Les apports énergétiques et nutritionnels doivent également être raisonnés.

²⁵ Acétate et butyrates sont également des acides gras volatiles issus des fermentations ruminales, précurseurs des corps cétoniques

²⁶ On fera particulièrement attention à apporter suffisamment de lysine et de méthionine

²⁷ Un taux faible conduit à de meilleurs résultats

2. Importance économique des performances de reproduction optimales

L'impact de la reproduction sur la marge brute en élevage est le plus important après celui du coût alimentaire, même si son impact réel est difficile à évaluer (Cosson, 2005).

De bonnes performances de reproduction, ce sont des résultats à court, moyen et plus long termes. Ainsi, pour évaluer les répercussions économiques des performances de reproduction d'un troupeau, il faut considérer différentes échelles de temps : une évaluation à un an pour les conséquences en matière de production laitière et de répartition de la production du troupeau, une évaluation à trois ans pour la mise en place du renouvellement du troupeau et une évaluation à cinq ans pour ce qui est du progrès génétique (Seegers, 2005).

Selon Seegers (2005), il faut prendre en compte quatre éléments lorsqu'on cherche à évaluer l'impact économique de l'infécondité : l'allongement de l'IVV (intervalle vêlage-vêlage), le coût des réformes liés à un problème de reproduction, le coût des IA supplémentaires et le manque à gagner pour une quantité de lait produite moindre (Tableau 2). Bien sûr cette évaluation serait à adapter dans le contexte particulier de chaque élevage.

Tableau 2. Indicateurs pour l'estimation économique du coût de l'infécondité (Seegers, 2005)

Terme à estimer	Valeurs repères
(1) allongement de l'IVV (ou IVIF)	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Allongement peu pénalisant</u> : 10 à 20 € par 21 jours <ul style="list-style-type: none"> - IVV peu allongés (13 à 15 mois) - animaux les plus rentables du troupeau (fort no de lactation, faibles niveaux de production et index) - situations à faible opportunité de regroupement saisonnier des vêlages - résultats peu dégradés (moins de 15 % d'animaux concernés) • <u>Allongement très pénalisant</u> : 35 à 60 € par 21 jours <ul style="list-style-type: none"> - IVV moyens très allongés (plus de 17 mois) - animaux les moins rentables - situations à très forte opportunité de regroupement saisonnier des vêlages - résultats très dégradés (moins de 15 % d'animaux concernés) • <u>Valeur par défaut en l'absence de données</u> : 20 €
(2) Réformes pour problèmes de reproduction	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Réforme peu pénalisante</u> : 0 à 100 € par cas <ul style="list-style-type: none"> - réforme peu supplémentaire par rapport de 25 à 30 % de taux de réforme de troupeau - peu d'autres motifs de réforme contraignants - réforme peu anticipée (> 2^e lactation) - animaux de rentabilité moyenne du troupeau • <u>Réforme très pénalisante</u> : 200 à 400 € par cas <ul style="list-style-type: none"> - réforme très anticipée (1^e lactation, début de 2^e lactation) - réforme conduisant à >45 % de taux de réforme de troupeau - réforme peu anticipée (< 3^e lactation) - animaux de forte rentabilité intra-troupeau • <u>Valeur par défaut en l'absence de données</u> : 150 €
(3) Coûts d'IA supplémentaires et interventions liées	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Valeur par défaut</u> : 65 €, c'est à dire 37 € par forfait supplémentaire + 28 € de frais de traitements et interventions sur la base des forfaits aussi
(4) Manque à gagner pour quota non réalisé	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Marge brute élevée</u> : 23 cent d'€/ litre • <u>Marge brute faible</u> : 16 cent d'€/ litre • <u>Valeur par défaut</u> : 20 cent d'€/ litre

IVV : intervalle entre deux vêlages ; IVIF : intervalle vêlage-insémination fécondante ;

En moyenne, dans les élevages français, les frais de reproduction (semence, mise en place, traitements) sont estimés à environ 55 € par vache laitière, avec une variabilité importante entre élevages (3^e quartile 1,5 fois plus élevé que le 1^{er} quartile). Cette variabilité ne semble pas directement corrélée au système d'élevage, ni au nombre de têtes de l'exploitation. Pour ce qui est de l'effet du niveau de production, une tendance à la hausse des frais de reproduction pourrait se dessiner (Paccard, 2005).

3. Importance d'une bonne détection des chaleurs

En système laitier, la place de l'IA dans la reproduction est largement prépondérante, or, celle-ci suppose de détecter les chaleurs pour réaliser l'insémination au bon moment et maximiser ainsi les chances de fécondation. Une mauvaise détection des chaleurs peut donc conduire à une augmentation de l'IVV (si l'éleveur ne repère pas toutes les chaleurs des vaches), ou bien à une dégradation du taux de gestation si au contraire, l'éleveur repère « trop » de périodes de chaleurs, dans le sens où il insémine des vaches qu'il a cru voir en chaleur mais qui n'y sont pas. Les conséquences économiques qui en résultent sont liées à un retard pour l'obtention d'une gestation et au nombre d'IA non fécondantes qui constituent donc un investissement qui ne connaîtra pas de retour (Hanzen, 2008 ; Maufré, 2015).

C. Indicateurs utilisés pour évaluer les performances de reproduction à l'échelle du troupeau en élevage laitier

1. Fécondité

Elle concerne le nombre de veau produit par une femelle chaque année. Il s'exprime à travers deux critères : l'IVV, qui correspond à l'intervalle entre deux vêlages, et l'IVIF, qui traduit le temps nécessaire pour obtenir une insémination fécondante sur une femelle après vêlage. Attention cependant à ne pas oublier de prendre en compte les animaux qui auront été réformés pour infécondité (et qui n'apparaissent donc pas dans l'IVV) afin d'avoir une vision globale de la situation de l'élevage.

2. Fertilité

Ce paramètre traduit la capacité d'une femelle mise à la reproduction à être fécondée. La fertilité peut s'évaluer à travers différents critères : le taux de réussite en première IA et le pourcentage de vache nécessitant au moins trois IA pour obtenir une gestation sont couramment utilisés dans le cadre d'un bilan de reproduction annuel classique. Le taux de gestation sur une période donnée peut également être utilisé, il correspond au rapport entre le nombre de femelles gestantes et le nombre de femelles mises à la reproduction sur cette période.

3. Taux d'avortement

Bien que ne permettant pas de caractériser ni la fécondité, ni la fertilité, le taux d'avortement ne doit pas être négligé. Il correspond au rapport entre nombre de femelles ayant avorté et le nombre de femelles mises à la reproduction sur une période donnée.

D. Le suivi de reproduction, principes et intérêts

Une bonne gestion de la reproduction en élevage est basée sur un suivi continu, qui fait intervenir de concert, éleveur et vétérinaire.

1. Intérêt du suivi de reproduction

Un suivi de reproduction rigoureux permet d'intervenir rapidement si l'élevage s'écarte de ses objectifs. La périodicité des visites est souvent mensuelle, voire bi-mensuelle, ce qui permet de réagir au plus vite sur un individu. Avec un choix adapté d'indicateurs, il est possible d'évaluer la reproduction de l'élevage à différentes échelles de temps. Que l'élevage soit ou non en difficulté sur le plan de la reproduction, un suivi rigoureux lui permettra, selon la situation, de corriger un problème ou bien de maintenir voir d'améliorer ses performances. En effet, une dégradation des performances de reproduction est à l'origine de pertes économiques qui peuvent rapidement devenir conséquentes : mettre en place un suivi régulier doit permettre de réguler ces pertes. Pour le vétérinaire, il s'agit aussi d'un moyen efficace pour instaurer un suivi plus régulier de l'élevage, chaque visite de suivi pouvant devenir l'occasion de discuter avec l'éleveur et d'observer l'élevage dans son ensemble (Ennuyer, 2009).

2. Les différentes catégories d'animaux à prendre en compte dans un suivi de reproduction

Cinq catégories d'animaux sont à prendre en compte dans le cadre d'un suivi de reproduction (Alves De Oliveira *et al.*, 2008) :

- les vaches ayant vêlé autour de 30 jours avant la date du suivi, afin de contrôler l'involution utérine, ainsi que la reprise de la cyclicité. Les anomalies ainsi détectées précocement seront corrigées au plus tôt afin de ne pas prendre de retard dans la mise à la reproduction ;
- les vaches ayant vêlé au moins 50 jours avant la date du suivi et qui n'ont jamais été revues en chaleur depuis, pour déterminer l'origine probable de cette absence de chaleurs observées ;
- les vaches ayant été inséminées pour contrôle de gestation. Ce contrôle peut se faire au plus tôt à partir de 30 jours après insémination. Selon la périodicité des suivis, le contrôle pourra être réalisé plus ou moins tôt ;
- certaines vaches nécessitant un réexamen : un deuxième contrôle de gestation est parfois réalisé lorsque le premier est très précoce, afin de s'assurer qu'il n'y a pas eu de mortalité embryonnaire, ou bien lorsque le premier examen s'est avéré douteux. On peut aussi réexaminer certaines vaches après traitement hormonal pour contrôler la bonne reprise de la cyclicité ;
- les vaches à problème (cycle irrégulier, nombre d'inséminations élevé, problèmes détectés lors d'un suivi précédent à contrôler tels que kystes ou métrite).

3. L'examen gynécologique dans le cadre du suivi de reproduction

a. Etapes préliminaires à l'examen génital

Comme toute consultation, une visite destinée à contrôler le stade physiologique d'un animal ou la performance du troupeau en matière de reproduction doit débiter par un recueil de commémoratifs. Dans le cas du suivi de troupeau, une routine peut être instaurée avec l'éleveur, qui fournira, avant la visite, l'ensemble des données concernant les vaches prévues au contrôle. Sont essentielles parmi les informations à relever : le rang de vêlage de chaque animal, les dates et conditions du dernier vêlage et les dates de chaleurs, d'IA ou de saillie. Au-delà des informations liées purement à la reproduction, on relèvera les informations de santé et de production des animaux (Picard-Hagen *et al.*, 2012).

Un examen physique rapide devra en particulier s'attarder sur l'état corporel, mais permettra également de relever d'autres problèmes de santé éventuels tels que des boiteries par exemple, en particulier lorsque le praticien intervient dans le cadre de problèmes de reproduction relevés par l'éleveur ou lors des précédents suivis (Picard-Hagen *et al.*, 2012).

b. La palpation transrectale

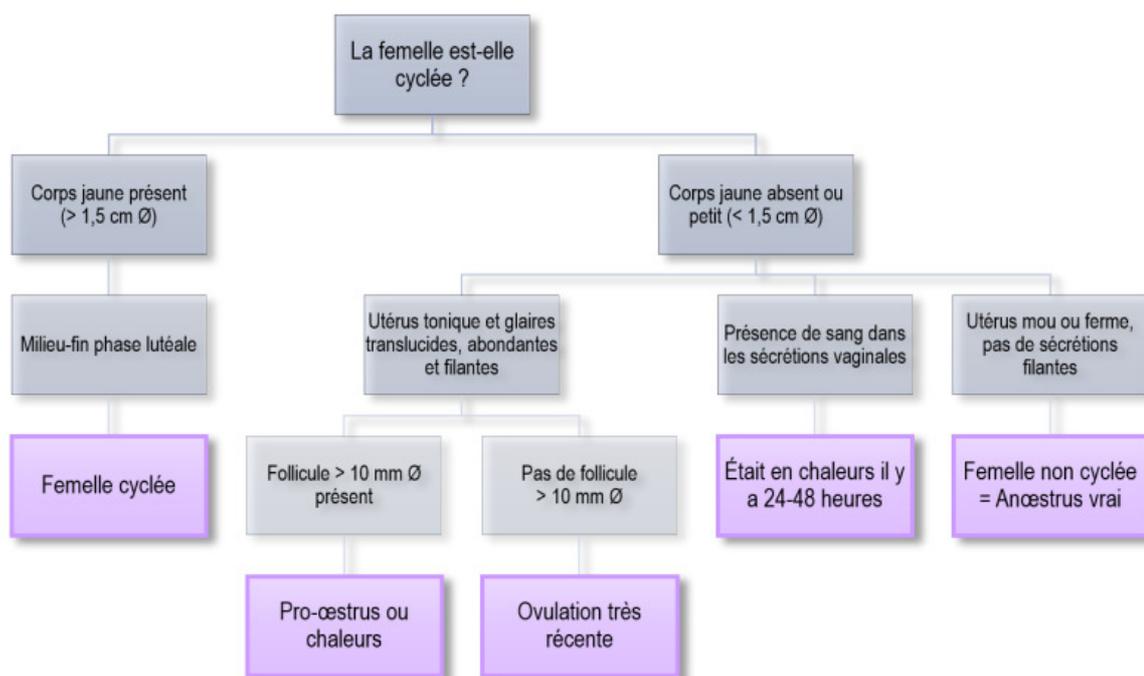
Elle doit permettre d'explorer l'ensemble du tractus génital qui est accessible par cette voie (vagin, col, cornes, ovaies).

A la palpation des ovaies, on recherche la présence de structures particulières : follicules, corps jaunes et kystes²⁸. Les informations recueillies permettent de contrôler que la vache est bien cyclée. On peut également dans certains cas affiner le stade du cycle (Figure 7). Un certain nombre de critères permettent de différencier les structures palpées (Picard-Hagen *et al.*, 2012) :

- un follicule a une paroi fine et un contenu liquidien. Il est lisse et dépressible à la palpation. A la palpation, on recherche principalement la présence de follicules dominants, qui peuvent mesurer entre 1 et 2,5 cm. Au-delà, on parle de kyste ;
- un corps jaune hémorragique est mou et crépitant à la palpation et sa taille augmente jusqu'à sept jours après ovulation, sans dépasser deux cm. Le *corpus luteum* ou corps jaune a quant à lui une consistance plus ferme et élastique. Il peut prendre la forme caractéristique d'un bouchon de champagne si la cicatrice d'ovulation est bien marquée. Si elle est plus discrète, on peut avoir un corps jaune intra-ovarien. Le corps jaune peut être cavitaire avec, dans ce cas, une consistance plus molle.

²⁸ Il peut être folliculaire ou lutéal, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un follicule ou d'un corps jaune dont la cavité a atteint une taille excessive (> 2,5 cm)

Figure 7. Base du raisonnement pour le diagnostic du stade du cycle chez la vache (Constant *et al.*, 2017)



Le Tableau 3 résume les caractéristiques des différentes structures de l'appareil génital en fonction du stade du cycle.

Tableau 3. Caractéristiques des structures de l'appareil génital de la vache évaluables par examen visuel et transrectal au cours du cycle (d'après (Picard-Hagen *et al.*, 2012))

		Proœstrus	Œstrus	Métœstrus	Dicœstrus
Follicule		10-15 mm	15-25 mm	/	10-15 mm
Corps jaune	diamètre	10-20 mm	< 10 mm	10-20 mm	> 15 mm
	consistance	Ferme à dure	Ferme à dure	Friable et molle	Ferme à dure
Cornes (consistance)		Ferme à dure	Tonique	Ferme	Flasque
Ecoulements	quantité	Abondants	Très abondants	+/- abondants	Absents
	nature	Muqueux	Muqueux	Muco-sanguinolents	/
	qualité	Filant	Très filant	Filant	/

L'examen de l'utérus par palpation peut également permettre de déterminer si la vache est gestante (à partir de 50 jours post IA). Pour cela, on peut évaluer la taille de l'utérus, la dissymétrie des cornes, une fluctuation liquidienne, la présence du fœtus ou de placentomes. A partir de quatre mois de gestation, on peut sentir un frémissement circulatoire au niveau de l'artère utérine (« thrill ») et on repère une augmentation de la taille de cette artère à partir de 40-50 jours.

Il est donc possible de diagnostiquer la cyclicité, le stade du cycle d'une vache ou une gestation. Mais la fiabilité du diagnostic est très dépendante de l'expérience du praticien.

c. Compléter l'approche diagnostique par échographie

L'échographie utilisée dans le cadre de l'examen génital est réalisée par voie transrectale chez la vache, à l'aide d'une sonde linéaire de 5 MHz (parfois 7,5 ou 10 MHz). Il est important de savoir reconnaître les structures à partir de leurs caractéristiques échographiques. L'échographie est une méthode précoce et fiable de diagnostic de gestation. En effet, au-delà de 26 jours, la spécificité d'un examen échographique dans le cadre d'un diagnostic de gestation s'élève à 87,7 %, et que sa sensibilité s'élève à 97,7 % (Fricke, 2002).

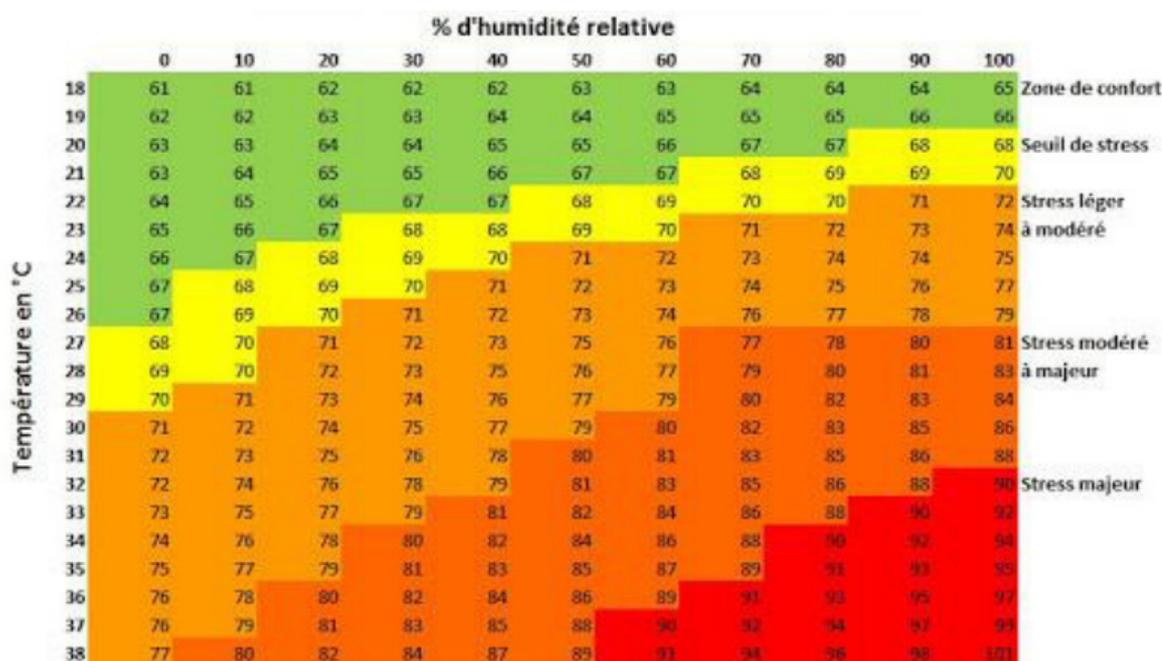
III. Stress thermique et son impact en élevage bovin laitier

Le stress thermique peut fortement impacter la santé et la production des animaux. Il est donc essentiel, d'autant plus dans un contexte de production, de cerner ces effets et de tenter d'en limiter l'impact. Nous allons ici commencer par définir le stress thermique avant d'en exposer les conséquences tant en termes de santé générale qu'au niveau de la reproduction. Nous terminerons en proposant quelques solutions pour lutter contre ce stress thermique. Il est important de noter que la grande majorité des études menées au sujet du stress thermique l'ont été en climat tropical.

A. Définition de la notion de stress thermique

Le stress thermique peut être défini comme un déséquilibre thermique au niveau de l'organisme, causé par une incapacité de celui-ci à dissiper la chaleur produite, notamment en cas de conditions météorologiques caractérisées par de fortes températures et/ou une humidité relative élevée (Figure 8). Ajoutons que plus le métabolisme de l'animal est élevé (comme c'est le cas des animaux à forte production laitière), plus la production de chaleur par l'organisme est importante et donc plus la quantité de chaleur à dissiper sera élevée, générant une plus grande sensibilité au stress thermique (Verdoolaege, 2020).

Figure 8. THI et évaluation du stress thermique chez les vaches laitières en fonction de la température extérieure et de l'humidité relative (Verdoolaege, 2020)



Le THI (Indice température-humidité) est l'indice de stress thermique de référence. Il est fonction de la température et de l'humidité relative (Figure 8). Il s'agit de l'outil couramment utilisé pour caractériser le niveau d'inconfort des animaux et c'est celui que nous utiliserons dans notre étude. Il peut être calculé à l'aide de la formule suivante :

$THI = (1,8T + 32) - ((0,55 - 0,0055H) \times (1,8T - 26))$ ou T correspond à la température et H à l'hygrométrie (Kendall *et al.*, 2006).

B. Impact du stress thermique en élevage laitier

Sans qu'il soit fréquent d'observer des phénomènes tels que des coups de chaleurs chez les bovins, des manifestations plus discrètes du stress thermique sont facilement objectivables, notamment d'un point de vue zootechnique.

1. Impact sur la prise alimentaire et l'utilisation de la ration

En cas de stress thermique, la prise alimentaire est réduite et la qualité de la ration ingérée a tendance à se dégrader. En effet, une ration qui chauffe est une ration qui perd en valeur alimentaire, mais aussi en appétence pour les animaux. Les quantités ingérées par les animaux sont donc plus faibles et la qualité des éléments ingérés est également dégradée : les apports sont alors insuffisants face aux besoins d'entretien et de production. La diminution de l'ingestion s'explique en particulier par la nécessité de l'animal à limiter la production de chaleur interne. La fermentation au niveau ruminal représentant une part importante de la production de chaleur endogène chez un ruminant, la diminution de la prise alimentaire est un bon moyen de lutter contre le stress thermique.

Cette baisse de la prise alimentaire conduit à une balance énergétique négative et peut engendrer des déséquilibres hormonaux, en particulier, un défaut d'excrétion de LH (I.A.1). En particulier, un apport énergétique insuffisant peut notamment être à l'origine de cétose avec les conséquences négatives sur la reproduction (fertilité et fécondité dégradées) qui lui sont associées (I.A.3). Il est également à noter que les animaux ont tendance à concentrer la prise alimentaire en moins de repas, de taille augmentée, tout en privilégiant l'ingestion de particules plus fines et en évitant les fourrages quand le tri est possible, ce qui favorise l'abaissement du pH ruminal. Cette acidification au niveau ruminal peut diminuer l'activité ruminale et induire des désordres digestifs avec des répercussions sur la santé générale, avec par exemple, des lésions au niveau de la paroi du rumen (kératose ruminale) conduisant à un défaut d'absorption, ou bien des boiteries liées à de la fourbure (Curtis, 1983 ; Sammad *et al.*, 2020).

La prise d'eau est également augmentée afin de compenser les pertes liées à la transpiration et à la salivation, ce qui induit une dilution des acides gras volatiles présents dans le rumen, ce qui préserve la santé ruminale en limitant le risque d'acidose (Millerieux, 2021).

2. Impact sur la production laitière

La production laitière est directement corrélée à la prise alimentaire : 1 kg de lait nécessite 0,44 UFL (Unité Fourragère Lait). Le stress thermique induisant une baisse de l'ingestion, il y aura aussi baisse de la production laitière. La production journalière peut alors connaître une chute de l'ordre de 20 % en cas de stress thermique lorsque le THI passe de 68 à 78. Pour un THI supérieur à 69, chaque point supplémentaire d'indice THI est associé à une chute de production de 0,4 kg de lait par jour (Verdoolaege, 2020). Les résultats d'une autre étude indiquent une perte

de 180 à 270 kg sur une période de quatre mois allant de juin à septembre selon la latitude, chez des vaches produisant 32 kg de lait par jour ; ces pertes étant évidemment variables d'une année à l'autre selon les conditions climatiques réelles rencontrées (Osburn et Hahn, 1968).

3. Impact sur l'équilibre acido-basique de l'animal

Au cours d'un épisode de chaleur, les bovins évacuent la chaleur en excès par transpiration, mais aussi largement par augmentation de leur fréquence respiratoire. On parle alors de polypnée : ce mécanisme permet, par une augmentation des volumes d'air circulant sur une même durée, de favoriser les échanges de chaleur de l'organisme vers l'extérieur (l'air inspiré se réchauffe au niveau des poumons avant d'être expiré). Cette augmentation de la fréquence respiratoire génère une alcalose d'origine respiratoire, dont l'effet au niveau général est le plus souvent temporisé par une compensation métabolique. Ainsi, des échanges au niveau rénal et cellulaire permettent de limiter l'effet de cette alcalose respiratoire sur le pH sanguin : on observe en particulier une diminution de la réabsorption rénale de bicarbonate, afin de limiter leur accumulation dans le compartiment sanguin. En l'absence de compensation, ou si celle-ci est insuffisante, l'alcalose respiratoire peut entraîner une alcalémie, pouvant conduire à des troubles d'ordre digestifs (météorisation), nerveux et parfois, à la mort brutale de l'animal (Millerioux, 2021).

4. Impact sur l'immunité et la santé

Les fortes chaleurs induisent un stress oxydatif qui fragilise les membranes des cellules. Au niveau immunitaire, cela se traduit par un nombre de leucocytes circulant diminué et donc à un statut immunitaire dégradé ; les animaux sont alors plus à risque de contracter diverses maladies telles que mammites, maladies du pied, métrites, affections respiratoires... (Zhang *et al.*, 2014).

La vache dispose de neurones sensibles à la température répartis dans tout l'organisme qui transmettent à l'hypothalamus les informations relatives à la température interne et externe. L'intégration par l'hypothalamus des variations de températures peut induire des changements d'ordre physiologique tels qu'une augmentation de la fréquence respiratoire, du flux sanguin périphérique et de la transpiration. Ces phénomènes sont une réponse normale à l'augmentation de la température de l'organisme et ont pour objectif de limiter celle-ci mais dans certains cas, ils induisent également des désordres physiologiques (modification de l'équilibre acido-basique, déshydratation...) pouvant induire une dégradation de l'état de santé de l'animal (Curtis, 1983).

5. Impact sur le comportement

Sous l'effet de fortes chaleurs, les animaux ont tendance à limiter toute activité ou tout comportement pouvant être générateur de chaleur, tout en privilégiant celles et ceux qui leur apporteront un peu de confort thermique en les aidant à évacuer l'excès de chaleur. Ainsi, les vaches limitent la station couchée et restent d'avantage en position debout, ce qui autorise une plus grande surface d'échange pour évacuer la chaleur, tout en privilégiant des zones ombragées et ventilées. L'augmentation de ce passé debout peut être à son tour à l'origine de l'apparition de problèmes de boiteries. La rumination, ainsi que l'activité physique sont également de plus faible intensité. La première étant directement liée à la prise alimentaire, elle suit sa diminution qui est une réponse au besoin de limiter la production de chaleur. La baisse de l'activité physique est aussi une réponse à cette problématique, en limitant l'activité musculaire, source de chaleur endogène. Cette baisse d'activité comprends aussi une baisse des comportements de chaleur, qui a donc un impact sur leur détection par l'éleveur (Honig *et al.*, 2012).

C. Effets du stress thermique sur la reproduction chez les bovins

Les vaches laitières sont aujourd'hui moins tolérantes au stress thermique que par le passé. Ceci peut être relié à l'augmentation de la production laitière, à l'origine d'une plus importante production de chaleur par le métabolisme de l'animal (Sammad *et al.*, 2020). Les vaches laitières, en particulier hautes productrices, en subissent donc les conséquences plus précocement que des vaches tarées ou des vaches allaitantes : pour une température extérieure de 30°C, une génisse, qui n'est donc pas en lactation, a une température rectale de 38,7°C, quand une vache en production a une température rectale de 39,8°C, or un impact négatif sur la fertilité est observé dès que la température rectale dépasse 39,5°C (Hansen, 2007) et l'impact sur les performances de reproduction est plus rapidement observé que celui sur la production laitière. Ainsi, pour un THI supérieur à 73, on estime que les performances sont déjà largement dégradées : pour un stress thermique de cette intensité intervenant dans les 21 jours précédant l'insémination, le taux de conception passe de 31 % à 12 % (Schüller *et al.*, 2014).

Le stress thermique limite la prise alimentaire, or une reproduction optimale nécessite des apports suffisants et correctement équilibrés dans la ration. En cas de stress thermique, l'effet principal serait donc lié à la baisse d'ingestion de matière sèche qui modifie les apports énergétiques de la vache et conduit dans de très nombreuses situations à un bilan énergétique négatif qui est à l'origine des moins bons résultats de reproduction observés.

Au-delà de ce mécanisme principal impliquant une diminution de la prise alimentaire, les effets du stress thermique concernent toutes les étapes du processus du processus de gestation.

1. Impact du stress thermique sur la régulation hormonale du cycle

En cas de stress thermique, les variations hormonales étant très finement régulées au cours du cycle sexuel, les variations induites par les fortes chaleurs peuvent ainsi être à l'origine de dérèglements des cycles œstraux et ovariens chez les animaux qui y sont soumis.

Le stress thermique induit, comme tout stress, une augmentation du cortisol circulant. Le cortisol semble pouvoir agir au niveau de l'hypothalamus et de l'hypophyse. Ainsi, en se fixant à des récepteurs à GnRH au niveau de l'hypothalamus, il inhibe la synthèse et la libération de GnRH, mais en agissant au niveau hypophysaire, il diminue la sensibilité à la GnRH des cellules sécrétrices de LH, ce qui en limite la libération dans le sang (Breen et Karsch, 2004 ; Verdoolaege, 2020).

D'après Palta *et al.* (1997), les concentrations en inhibine plasmatique sont plus faibles en été qu'en hiver, peut-être à mettre en relation avec les effets du stress thermique sur la folliculogénèse. En effet, le stress thermique est à l'origine d'une diminution de la synthèse d'inhibine qui induit une production de FSH plus élevée (Roth *et al.*, 2000). L'inhibine intervenant en association avec la FSH dans la régulation des vagues folliculaires, ces modifications hormonales observées lors de stress thermique perturbent par conséquent le déroulement des vagues folliculaires, ce qui se traduit par une augmentation de la durée de la dominance des follicules et par des follicules dominants plus nombreux (alors que l'on en compte normalement qu'un seul par phase de dominance). Ces altérations dans le déroulement des vagues folliculaires résultent (1) par une augmentation du nombre de vaches ovulant sur la deuxième vague folliculaire, avec un follicule dominant plus âgé et donc moins fertile (Mihm *et al.*, 1994 ; Austin *et al.*, 1999 ; Bleach *et al.*, 2004) et (2) par une augmentation du nombre d'ovulation double,

observée de façon plus fréquente l'été que l'hiver (Ryan et Boland, 1991), également associée à une baisse de la fertilité (López-Gatius *et al.*, 2005).

2. Impact du stress thermique sur la fertilité

En cas de stress thermique, la fertilité des animaux est dégradée et cet effet persiste dans le temps une fois l'épisode passé (Gwazdauskas *et al.*, 1975 ; Udomprasert et Williamson, 1987 ; Roth *et al.*, 2001 ; Zeron *et al.*, 2001 ; Cortvrindt et Smitz, 2001 ; López-Gatius, 2003 ; Maya-Soriano *et al.*, 2013 ; Stamperna *et al.*, 2020). Il existe d'ailleurs une association entre l'occurrence des périodes de stress thermique et la dégradation observée de la fertilité des troupeaux (Gwazdauskas *et al.*, 1975 ; Udomprasert et Williamson, 1987). Les effets d'un épisode de stress thermique sur l'aptitude des ovocytes à terminer leur maturation et à être fécondés peut ainsi se répercuter sur au moins quatre cycles suivant la survenue de ce stress (Roth *et al.*, 2001). Cette perte de compétence ovocytaire serait à relier à une modification morphologique des ovocytes et de leur contenu (fragmentation du noyau, stress oxydatif...). En particulier la composition de la membrane lipidique peut varier d'une saison à l'autre et sa thermolabilité augmenter en été ce qui perturberait les premières divisions cellulaires du zygote suite à la fécondation, ce qui se traduit par une moindre capacité à dépasser le stade de blastocyste (Roth *et al.*, 2001 ; Gonçalves, 2013).

De plus, des effets délétères sur la reproduction, en particulier sur le taux de conception, peuvent être observés dès la première heure d'exposition à un THI supérieur à 73 (Schüller *et al.*, 2014).

Le nombre de follicules ainsi que le nombre d'ovocytes prélevés par aspiration folliculaire écho-guidée²⁹ est réduit en été (Zeron *et al.*, 2001 ; Maya-Soriano *et al.*, 2013). La fertilité en été serait ainsi deux fois moindre par rapport à celle observée en hiver (López-Gatius, 2003). Enfin, les follicules les plus sensibles au stress thermique seraient les follicules tertiaires, ce qui peut diminuer la fertilité dans la semaine suivant l'épisode de stress thermique, bien que les autres stades puissent tout à fait être impactés avec par conséquent des effets similaires à beaucoup plus long terme (Cortvrindt et Smitz, 2001).

3. Impact du stress thermique sur la survie embryonnaire

Après la fécondation, l'embryon présente lui aussi une sensibilité au stress thermique, qui diminue à mesure qu'il se développe (Ealy *et al.*, 1993). Un stress thermique précoce diminue la capacité de l'embryon à évoluer vers sa forme de blastocyste ce qui est à l'origine de pertes embryonnaires. Ainsi, l'embryon est bien plus sensible au stress thermique au stade deux cellules (0 % des embryons soumis à un stress thermique ont atteint le stade blastocyste contre 26 % de ceux n'y ayant pas été soumis) qu'aux stades quatre ou huit cellules (10 % des embryons soumis à un stress thermique ont atteint le stade blastocyste contre 25 % de ceux n'y ayant pas été soumis) (Edwards et Hansen, 1997). Un embryon soumis à un stress précoce connaît des modifications morphologiques au niveau cellulaire (en particulier une altération du cytosquelette conduisant à des divisions cellulaires anormales), ainsi qu'un défaut de production de protéines (Edwards *et al.*, 1997 ; Rivera *et al.*, 2004).

²⁹ Technique permettant la ponction du follicule sous contrôle échographique pour récupérer les ovocytes dans le liquide folliculaire.

Le stress thermique induit une perturbation de l'environnement utérin qui se traduit par l'observation, lors d'épisodes de grosses chaleurs, d'une altération du développement embryonnaire conduisant à des défauts d'implantation et à une augmentation de la mortalité embryonnaire (Jordan, 2003 ; West *et al.*, 2003).

4. Impact du stress thermique sur la durée de gestation, la taille et la santé du veau

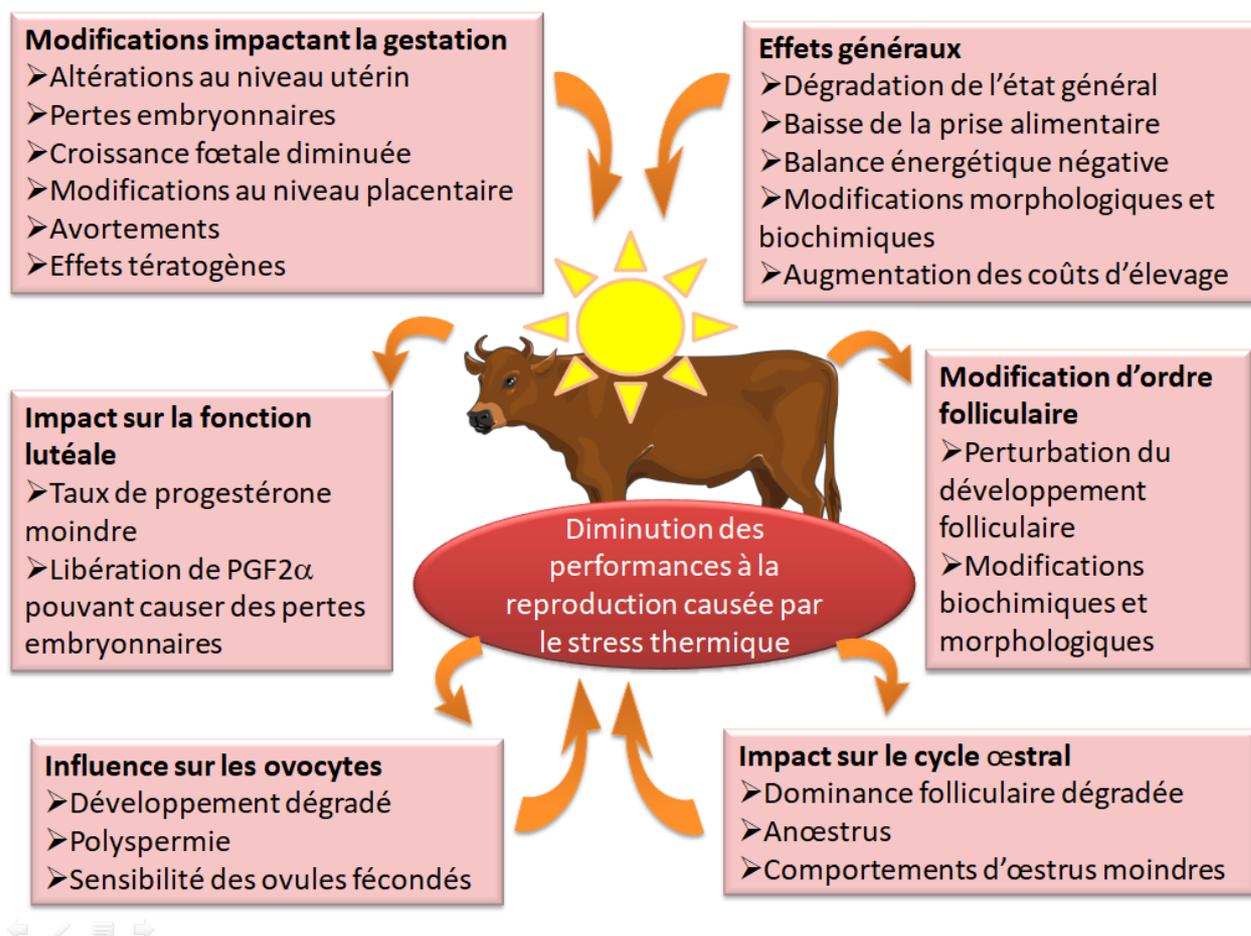
Au-delà des conséquences qui peuvent toucher la mère, on peut détailler certains effets du stress thermique sur le veau à naître. En effet, lors de stress thermique, le flux sanguin est majoritairement redirigé vers la peau et les extrémités pour tenter d'évacuer les excès de chaleur ce qui peut se faire au détriment de la vascularisation de l'utérus. Ces perturbations hémodynamiques pénalisent l'efficacité des échanges placentaires et donc la croissance fœtale (Ealy *et al.*, 1993). Ainsi, la croissance du veau pendant la gestation est négativement impactée en cas de stress thermique et on observe un poids de naissance souvent moindre pour les veaux des femelles ayant subi un stress thermique au cours de la gestation (42,5 kg de moyenne pour des veaux nés sans que la mère ait été soumise à un stress thermique, pour 36,5 kg de moyenne pour des veaux soumis à un stress thermique dans le dernier tiers de gestation). Cet effet semble par ailleurs se répercuter à plus long terme puisqu'on observe également un poids au sevrage plus faible pour des veaux ayant subi un stress thermique pendant la gestation (78,5 kg de moyenne pour des veaux nés sans que la mère ait été soumise à un stress thermique, contre 65,9 kg de moyenne pour des veaux soumis à un stress thermique dans le dernier tiers de gestation). Le statut immunitaire de ces veaux est également dégradé (IgG sériques totales mesurées à 1 577,3 mg/dL pour des veaux nés sans que la mère ait été soumise à un stress thermique, contre 1 057,8 mg/dL pour des veaux soumis à un stress thermique dans le dernier tiers de gestation) (Tao *et al.*, 2012).

5. Impact du stress thermique sur l'expression et la détection des chaleurs

Les comportements d'œstrus sont réduits durant l'été, que ce soit en termes de durée ou de niveau d'expression, avec moitié moins de comportements de chevauchement en été qu'en hiver. Leur détection est donc rendue plus délicate (Hansen et Areéchiga, 1999). Cette expression plus discrète des chaleurs peut être mise en relation avec la baisse de la prise alimentaire et une diminution des mouvements de l'animal pour limiter la chaleur produite par l'activité métabolique et musculaire induite ces déplacements. En effet, la détection des chaleurs est basée sur la mesure de l'activité locomotrice ^{et/ou} l'observation de séquences comportementales particulières entre individus, or ces deux activités sont directement impactées par la limitation de l'activité observée lors de stress thermique. De plus, le taux d'œstradiol plasmatique diminue consécutivement à l'augmentation de la concentration en glucocorticoïdes induite en cas de stress thermique (Verdoolaege, 2020). En effet, la sécrétion de cortisol induite induit une inhibition de la libération de GnRH. La cascade de régulation induit une diminution de la sécrétion de LH, ce qui impacte la croissance folliculaire, donc la production d'œstradiol par le follicule et limite par conséquent les comportements d'œstrus (Sammad *et al.*, 2020).

La Figure 9 résume les principaux effets du stress thermique sur les différents éléments intervenant dans le bon fonctionnement de la reproduction d'une vache laitière. Par leurs interrelations, ils conduisent à une baisse de la performance à la reproduction de l'individu, et par conséquent, du troupeau.

Figure 9. Représentation schématique des effets du stress thermique et de leurs interactions sur la reproduction (d'après Sammad *et al.*, 2020)



D. Quelques pistes d'aménagements pour limiter les effets du stress thermique en élevage laitier

Dans le contexte actuel de réchauffement climatique, réfléchir au confort thermique des animaux représente un réel défi même si un certain nombre de solutions existent déjà.

1. Adapter l'environnement de vie des animaux : le bénéfice de l'ombrage et des systèmes de refroidissement

Plusieurs pistes sont à l'étude pour faire face au stress thermique dans un contexte de réchauffement climatique global. Certaines sont assez simples à mettre en œuvre, d'autres demandent des aménagements plus lourds et coûteux.

Un des premiers éléments à mettre à disposition des animaux est l'ombre. Ainsi les vaches peuvent être rentrées en bâtiment aux heures les plus chaudes (à supposer que ceux-ci soient correctement ventilés et/ou isolés et ne piègent pas trop la chaleur) ou être placées dans un pré suffisamment pourvu d'ombrage naturel ou artificiel (Armstrong, 1994).

On peut penser également à l'installation d'éléments pour rafraîchir l'ambiance du bâtiment ou bien les animaux directement. L'installation de ventilateurs, de brumisateurs ou encore de

matelas rafraichissants peut s'avérer intéressante selon la capacité intrinsèque du bâtiment à éliminer la chaleur produite par les animaux. Bien installés et intégrés dans l'espace, ils peuvent même favoriser le couchage ou la prise alimentaire et donc limiter l'impact sur le confort et le niveau de production des animaux lors des épisodes de stress thermique (Noordhuizen et Bonnefoy, 2011).

2. Travailler sur la distribution de la ration

Durant un épisode de stress thermique, les animaux diminuent leur prise alimentaire. L'aliment dessillé et distribué tend à chauffer plus rapidement, ce qui entraîne une diminution de l'appétence pour les animaux. Il est donc intéressant de fractionner la distribution de l'aliment et éventuellement d'apporter la plus grande partie de la ration le soir, une fois les animaux dans des conditions de température plus supportables. Une alternative peut-être d'installer des dispositifs permettant de refroidir les vaches au niveau de l'aire d'alimentation, ce qui stimulera la prise alimentaire. Il peut aussi être intéressant d'apporter une ration pauvre en aliments calorifères (aliments riches en cellulose par exemple). Enfin, un apport d'eau suffisant est essentiel, la prise de boisson d'une laitière pouvant atteindre 100 à 150 L/j pour une température ambiante de 30°C (Noordhuizen et Bonnefoy, 2011).

3. L'intérêt des traitements hormonaux

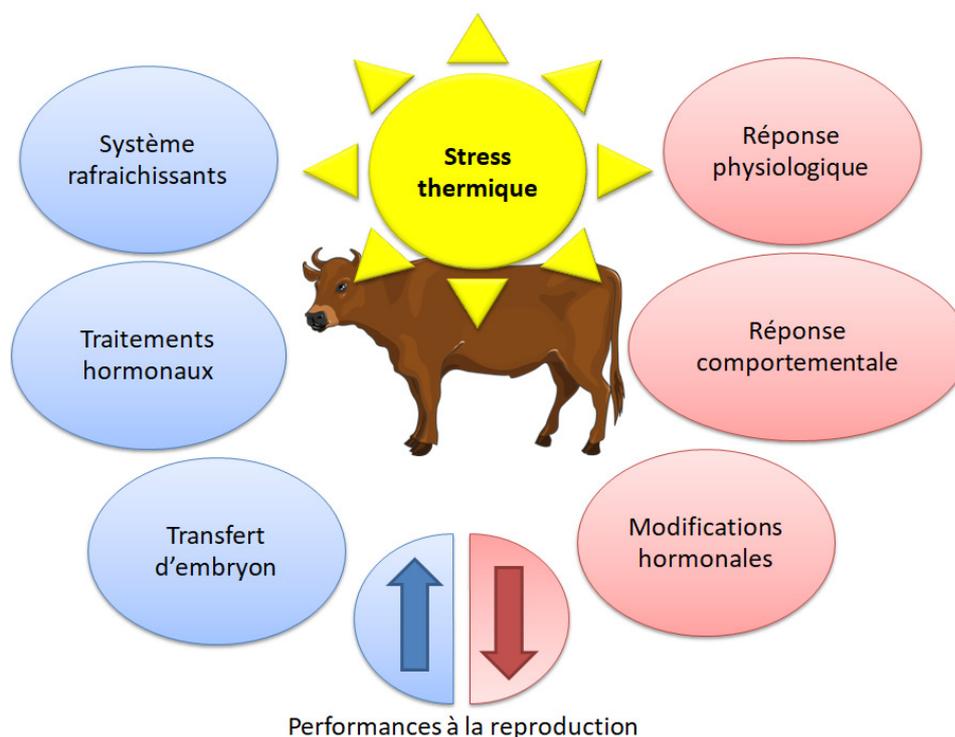
L'utilisation de traitements hormonaux peut aussi favoriser la réussite à l'IA. Ainsi, une injection de GnRH cinq jours après l'insémination permet la mise en place d'un corps jaune accessoire et donc d'une libération de progestérone qui compense le défaut de sécrétion lié au stress thermique (Wolfenson *et al.*, 2000). On peut compléter cette approche par la mise en place d'implant vaginaux de progestérone après insémination qui, pour les mêmes raisons peut aussi favoriser la gestation (Friedman *et al.*, 2014)

4. Aménager le travail pour un meilleur confort des animaux

En salle d'attente de traite, les animaux peuvent souffrir encore d'avantage du stress thermique de par la promiscuité imposée : diviser les grands lots d'animaux de façon à créer de petits groupes lorsque cela est possible peut présenter une réelle amélioration du confort des vaches. Réduire les déplacements des animaux limite aussi la production de chaleur liée à l'effort physique. Il peut ainsi être pertinent de repenser les rotations des pâtures dans le but de limiter les distances entre salle de traite et zones de pâturage pendant les épisodes de stress thermique par exemple (Noordhuizen et Bonnefoy, 2011).

Les aménagements exposés et synthétisés dans la Figure 10 s'ils sont plus ou moins aisés à mettre en place, peuvent représenter un réel apport de confort pour les animaux en période de forte chaleur.

Figure 10. Palier aux effets du stress thermique (d'après Roth, 2020)



Le stress thermique impacte donc négativement les bovins tant sur le plan de la santé (risques d'acidose, de cétose, de boiteries, d'infections diverses...) que sur celui de la production laitière et de la reproduction.

Si les études témoignant d'un effet du stress thermique sont nombreuses, elles sont le plus souvent issues d'observations réalisées en zone tropicale ou équatoriale. Nos latitudes sont bien moins représentées dans ces études. S'il est vrai que les épisodes de forte chaleur sont de moindre durée et intensité sous nos climats, ils pourraient cependant également impacter la santé et la production des animaux et la tendance d'évolution du climat pourrait rendre ces phénomènes de plus en plus fréquents et importants dans les années à venir. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes intéressés à l'étude d'un élevage laitier d'Ile de France dans le but d'objectiver dans un climat de type tempéré océanique, caractérisé par une relative stabilité des températures, l'impact des épisodes ponctuels de stress thermique sur les performances de reproduction de cet élevage.

Deuxième partie : étude expérimentale

I. Introduction

L'objectif de notre étude était de décrire les effets générés par des épisodes de stress thermique sur les performances de reproduction des vaches laitières. Pour cela nous avons cherché à répondre à deux questions biologiques :

- le stress thermique a-t-il un impact sur la réussite de l'IA ?
- le stress thermique a-t-il un impact sur la survie embryonnaire dans les premiers mois de gestation ?

Notre étude bibliographique nous a permis de montrer que de précédentes études ont mis en évidence un effet du stress thermique sur la santé des animaux, et plus particulièrement sur la reproduction en particulier sur ces deux paramètres, mais le plus souvent dans des climats tropicaux ou équatoriaux, climats pour lesquels les épisodes de stress thermiques sont répétés, fréquents et relativement intense. En France, et plus particulièrement dans les Yvelines, ces épisodes de stress thermique, même s'ils sont de plus en plus fréquents et d'intensité croissante, restent ponctuels. Nous avons donc cherché à objectiver les effets de ces épisodes de stress thermique sur certains paramètres de reproduction d'un élevage laitier d'Île de France.

II. Matériels et méthodes

A. Présentation de l'élevage d'étude

L'élevage de l'étude est celui de la ferme de Grignon (Figure 11), située dans les Yvelines (78), sur la plaine de Versailles, en Ile-de-France. Il s'agit d'un troupeau de 200 vaches laitières en production, de race Prim'Holstein. Les inséminations sont réalisées par l'éleveur et un protocole de suivi de reproduction est mis en place avec l'EnvA (Ecole nationale vétérinaire d'Alfort) depuis plus de 20 ans, avec une constante amélioration dans la précision des examens et des données recueillies.

La ferme de Grignon étant aussi une ferme expérimentale, des expérimentations sur la nutrition des animaux sont régulièrement menées. Depuis 2016, les animaux ne sortent plus au pâturage (une partie du troupeau sortait entre avril et juin, sur la période 2012-2016).

Cette ferme, bien qu'affiliée à l'école d'AgroParisTech, fonctionne sur un modèle économique classique car ne recevant pas de subvention de la part de l'école. Elle compte également un troupeau de 600 brebis et 400 ha de grandes cultures. Une partie du lait produit est transformé sur place sous forme de produits laitiers frais, la laiterie étant en place depuis 1980.

Figure 11. La ferme de Grignon vue du ciel (Agroparistech, 2021)



B. Données utilisées dans le cadre de cette étude

1. Données d'élevage

Les suivis de reproduction réalisés sur la Ferme de Grignon entre 1998 et 2018 ont été obtenus auprès des archives du service de reproduction de l'EnvA. Les résultats de ces suivis, réalisés sur papier, ont dû être triés, traités, et informatisés, avant leur analyse. Pour ce faire, il a fallu commencer par déterminer quelles informations extraire de ces suivis réalisés à différentes époques, par des personnes et des équipes différentes, et de manière plus ou moins codifiée et harmonisée. Ainsi, nous avons décidé de nous concentrer sur les résultats des diagnostics de gestation, en prenant le parti de laisser de côté toutes les informations relatives aux ovaires, aux traitements hormonaux, ou à la NEC des animaux au moment du suivi (ces éléments auraient pu intervenir dans le cadre d'une analyse multivariée que nous avons jugée trop délicate à mettre en place dans le cadre de ce travail). Il a également été jugé préférable de nous concentrer sur les dernières années disponibles, pour lesquelles nous disposions d'éléments plus complets et mieux codifiés, et donc, moins sources d'erreur de saisie. Des données de suivi de reproduction ont ainsi pu être extraites des suivis réalisés entre janvier 2014 et décembre 2018.

A partir de ces informations papier, nous avons reporté les dates et résultats des diagnostics de gestation de chaque vache examinée au cours de cette période, ainsi que la date d'IA à laquelle se rapporte ce diagnostic, ce qui a ensuite permis, par une simple soustraction grâce à un tableur Excel®, de calculer la durée de gestation au moment de l'examen. Le rang de l'échographie est également précisé (Tableau 4).

Tableau 4. Extrait des données de suivi de reproduction utilisées dans cette étude.

Date suivi	Vache	Date IA	Durée ge	DG	Rang écho	Exposé/non e	Fichier de suivi
10/06/2014	58	04/05/2014	37 -	E1	0	informatisé\20140610_SuiviRepro_Grignon.pdf	
03/03/2015	72	23/01/2015	39 -	E1	0	informatisé\20150303_SuiviRepro_Grignon.pdf	
31/03/2015	72	20/02/2015	39 -	E1	0	informatisé\20150331_SuiviRepro_Grignon.pdf	
05/05/2015	72	02/04/2015	33 -	E1	0	informatisé\20150505_SuiviRepro_Grignon.pdf	
28/07/2015	72	12/06/2015	46 +	E1	1	informatisé\20150728_SuiviRepro_Grignon.pdf	
18/08/2015	72	12/06/2015	67 +	E2	1	informatisé\20150818_SuiviRepro_Grignon.pdf	
17/11/2015	72	12/06/2015	158 +	E3	1	informatisé\20151117_SuiviRepro_Grignon.pdf	

DG : diagnostic de gestation, IA : insémination artificielle

2. Données météorologiques

Les données de température et d'hygrométrie (minimales, maximales et moyennes) ont été recueillies chaque jour dans l'élevage depuis 1998. Ces données nous ont permis de calculer (Tableau 5) le THI moyen (à partir des températures et hygrométrie moyennes) et maximal (à partir des températures et hygrométrie maximales) sur la période étudiée, à l'aide de la formule suivante : $THI = (1,8T + 32) - ((0,55 - 0,0055H) \times (1,8T - 26))$ (Kendall *et al.*, 2006), où T est la variable température et H la variable hygrométrie.

Tableau 5. Extrait des données météorologiques utilisées dans cette étude

Date	T moyenne	T min	T max	H max	H min	H moyenne	THI moyen (T et H moyel)	THI max (T et H max)
11/04/2018	12	5,2	18,8	96	38	73	54	66
12/04/2018	10,6	7,7	14,3	100	76	90	51	58
13/04/2018	11,9	8,2	16,9	100	64	87	54	62
14/04/2018	11,3	6,6	16,3	100	72	90	53	61
15/04/2018	12,4	7,8	16,9	100	63	84	55	62
16/04/2018	11,4	6,7	16,6	98	51	77	53	62
17/04/2018	14,4	6,2	20,8	88	48	68	58	69
18/04/2018	17,3	9,7	24,3	86	37	64	62	74

T : température, H : hygrométrie, THI : indice température-humidité

3. Exploitation des données

Nous avons étudié deux situations : (1) l'effet du stress thermique sur la réussite à l'insémination en s'intéressant à la proportion de vaches ayant eu un résultat de diagnostic de gestation positif dans les deux mois suivant insémination et (2) l'effet du stress thermique sur la survenue d'avortements précoces en évaluant la proportion de vaches ayant eu un résultat de diagnostic de gestation négatif en deuxième échographie³⁰ parmi celles qui étaient gravides à la première échographie. Dans les deux cas, le traitement statistique a consisté en une étude exposé/non exposé, les animaux exposés étant ceux soumis à un stress thermique dont les caractéristiques (durée, antériorité et intensité) ont été décrites. Les données ont été traitées à l'aide d'un tableur Excel®, avec extraction des données grâce à un tableau croisé dynamique filtrant les données selon le rang de l'échographie et permettant pour chaque situation de déterminer le nombre de vaches dont le diagnostic de gestation était positif ou négatif selon qu'elles aient été ou non exposées à un stress thermique.

Le test statistique utilisé était un test de χ^2 ; le seuil de significativité a été fixé à 0,05.

a. Etude de l'effet du stress thermique sur la réussite de l'insémination

Nous avons souhaité déterminer si, parmi les vaches laitières hautes productrices en Île-de-France, l'exposition à une période de stress thermique en amont de l'insémination avait un impact sur la réussite de l'IA, par comparaison avec des vaches issues du même élevage, non soumises à cette exposition. Pour cela, nous avons étudiés différents intervalles de temps et différents niveaux d'exposition. Dans chaque cas, le groupe des exposés était constitué des vaches ayant subi un stress thermique et répondant au critère étudié (relatif à la durée et l'intensité du stress thermique subit), sur l'ensemble de la période d'étude (2014-2018).

³⁰ Examen échographique réalisé sur les vaches gravides, trois mois après l'insémination, ce qui correspond à la fin de la période « à risque », pour confirmer la gestation et identifier les mortalités fœtales survenues après le diagnostic de gestation précoce.

Dans un premier temps nous avons étudié un stress thermique intervenant dans les 15 jours précédant l'IA et nous nous sommes intéressés à trois situations : un stress de courte durée (une journée) d'intensité élevée (THI > 80) ou modérée à élevée (THI > 70) et un stress d'intensité modérée à élevée (THI > 70) d'une durée au moins égale à cinq jours (Verdoolaege, 2020).

Nous avons ensuite tenté d'estimer si un stress intervenant plus tôt avant l'IA avait également un impact sur la réussite de l'IA en nous intéressant à un stress d'intensité élevée (THI > 80) intervenant sur au moins une journée dans les deux mois et trois mois précédant l'IA.

b. Etude de l'effet du stress thermique sur les avortements précoces

Nous avons ici cherché à déterminer si parmi les vaches laitières hautes productrices en Île-de-France, l'exposition à une période de stress thermique avait un impact sur l'occurrence d'avortements précoces, par comparaison avec des vaches issues du même élevage, non soumises à cette exposition après l'insémination.

Nous avons étudié le cas d'une exposition à un stress d'intensité élevé (THI > 80) intervenant sur au moins une journée dans les deux mois précédant l'échographie de contrôle (E2).

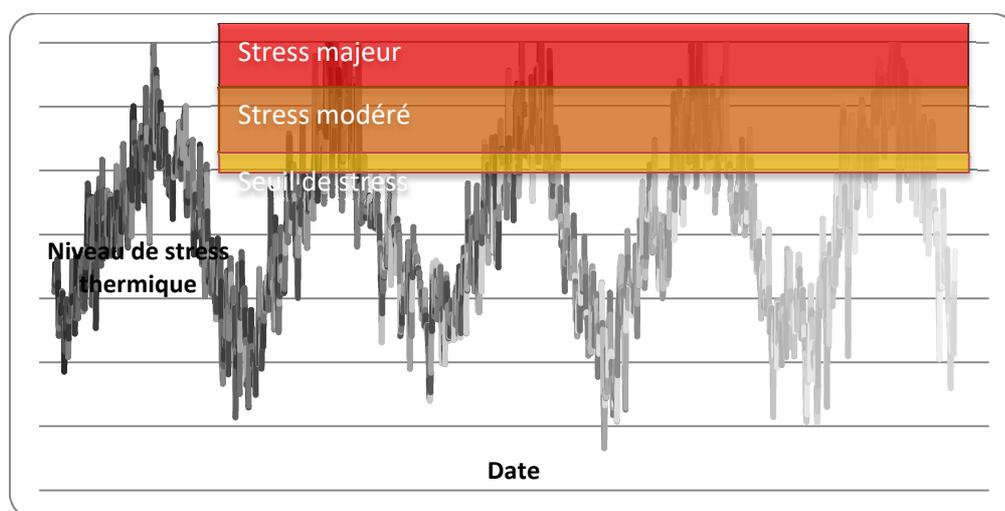
III. Résultats

A. Présentation de l'échantillon

Nous avons considéré, sur une période de 5 ans, 1741 résultats de DG en première échographie, tous rang d'IA confondus et 879 résultats de DG en deuxième échographie sur un total de 566 vaches de race prim'holstein, quelle que soit leur parité, et dont la production moyenne sur une lactation s'élève à plus de 9 000 kg de lait. Les vaches étudiées ont pu être considérées plusieurs fois, si elles ont été mises à la reproduction plusieurs fois au cours de la période d'étude. Les lots ont été constitués en fonction de l'exposition ou non à un niveau de stress prédéfini et donc essentiellement en fonction de la date de vêlage ou d'insémination.

La Figure 12 présente les variations de THI au cours des années 2014 à 2018.

Figure 12. Variation de THI max au cours de la période d'étude, de janvier 2014 à décembre 2018



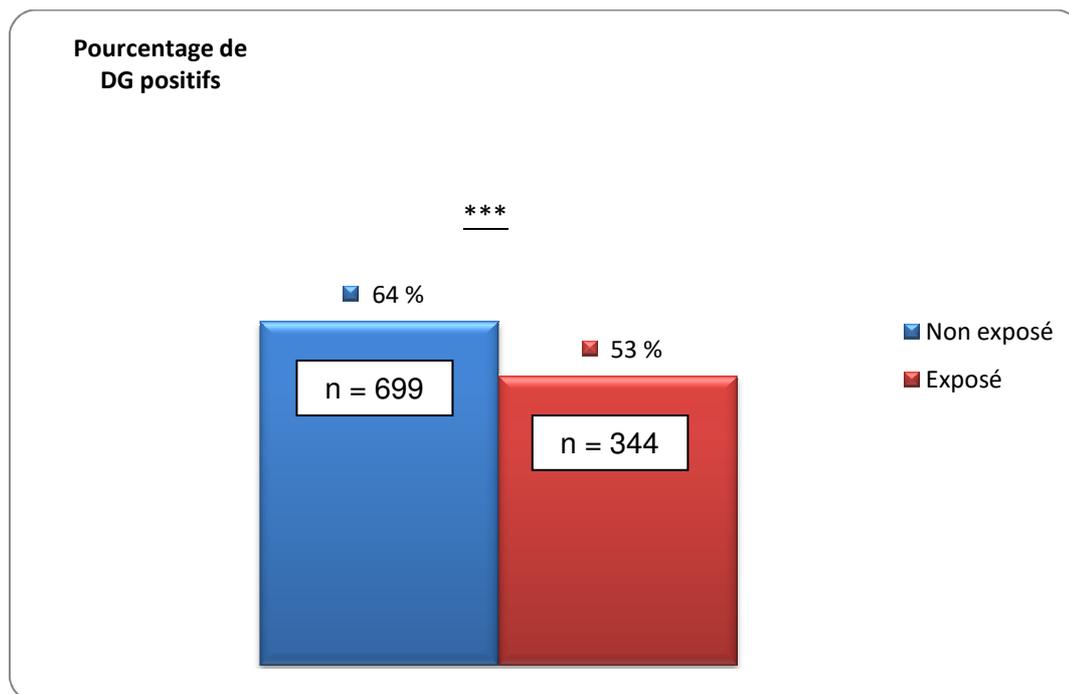
B. Etude de l'effet du stress thermique sur la réussite de l'insémination

Nous nous attachons dans ce paragraphe à évaluer l'effet du stress thermique et de ses différentes caractéristiques (durée, intensité, antériorité par rapport à l'insémination) sur la réussite à l'insémination des vaches de notre élevage d'étude. Les tableaux de contingence sont mis à disposition dans l'Annexe 1.

1. Effet d'un épisode de stress thermique d'au moins une journée avec THI > 70 dans les 15 jours précédant l'insémination

La Figure 13 représente la proportion de vaches ayant eu un résultat de diagnostic de gestation positif (vache gestantes) suite à une IA en fonction de l'exposition (en rouge) ou non (en bleu) à un épisode de stress thermique d'une durée d'au moins une journée avec un THI supérieur à 70 dans les 15 jours précédant l'insémination. On observe une diminution de 16 % ($p < 0,001$) du taux de gestation dans le groupe exposé à un épisode de stress thermique par rapport au groupe non exposé.

Figure 13. Impact d'un épisode de stress thermique (d'une durée d'au moins une journée avec un THI supérieur à 70 dans les 15 jours précédant l'insémination) sur la réussite à l'IA

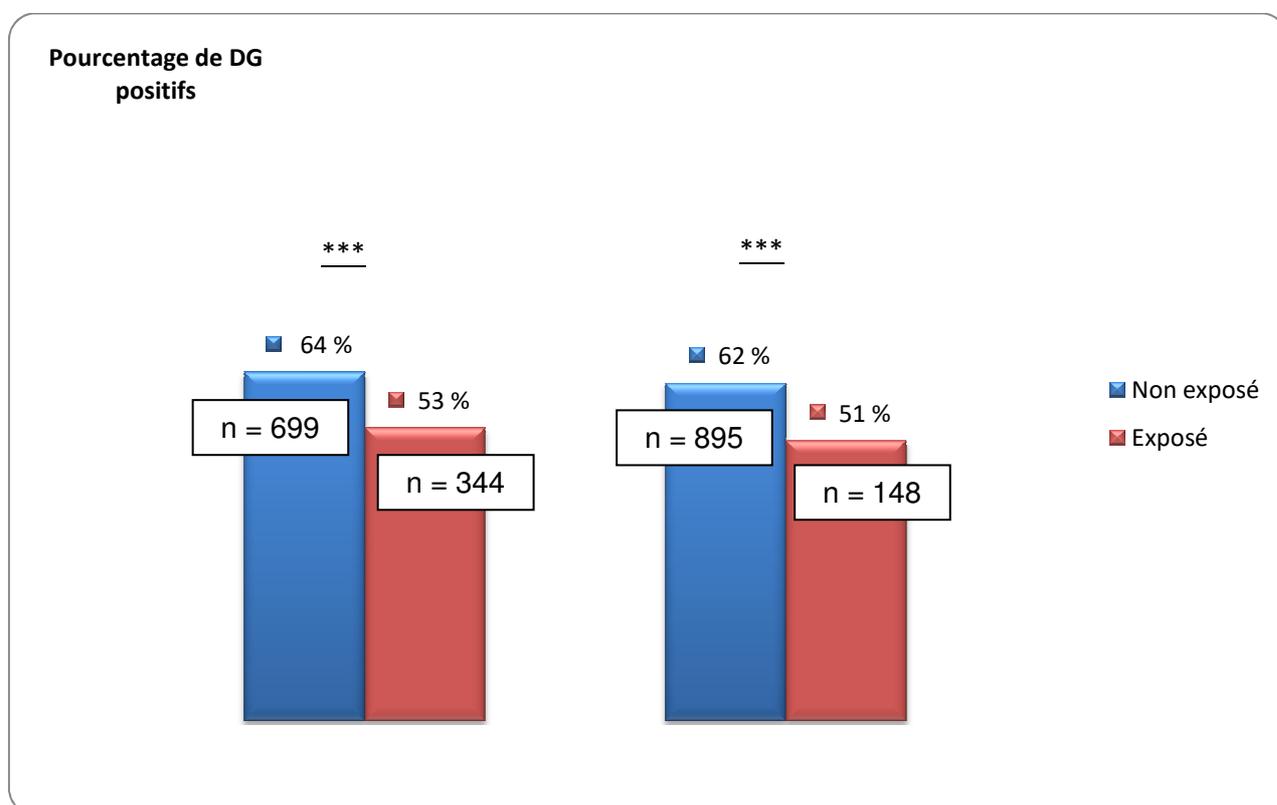


DG : diagnostic de gestation ; THI : indice température-humidité ; *** : $p < 0,001$

2. Comparaison de l'effet de l'intensité d'un épisode de stress thermique d'au moins une journée avec THI > 70 ou THI > 80 dans les 15 jours précédant l'insémination

La Figure 14 présente la comparaison de l'impact sur la réussite à l'IA (objectivée par la proportion de vaches présentant un résultat positif au diagnostic de gestation) de l'intensité (THI >70 ou THI > 80) d'un épisode stress thermique d'au moins une journée dans les 15 jours précédant l'insémination. On observe dans les deux situations (THI > 70 et THI > 80) une diminution significative ($p < 0,001$) du taux de gestation (respectivement - 16 % et -11 %) dans les groupes exposés (en rouge) à des épisodes de stress thermique par rapport aux groupes non exposés (en bleu). En revanche, ce différentiel n'apparaît pas plus élevé en cas d'intensité plus élevée de l'épisode de stress thermique.

Figure 14. Comparaison de l'impact sur la réussite à l'IA de l'intensité (THI >70 ou THI > 80) d'un épisode stress thermique d'au moins une journée dans les 15 jours précédant l'insémination.

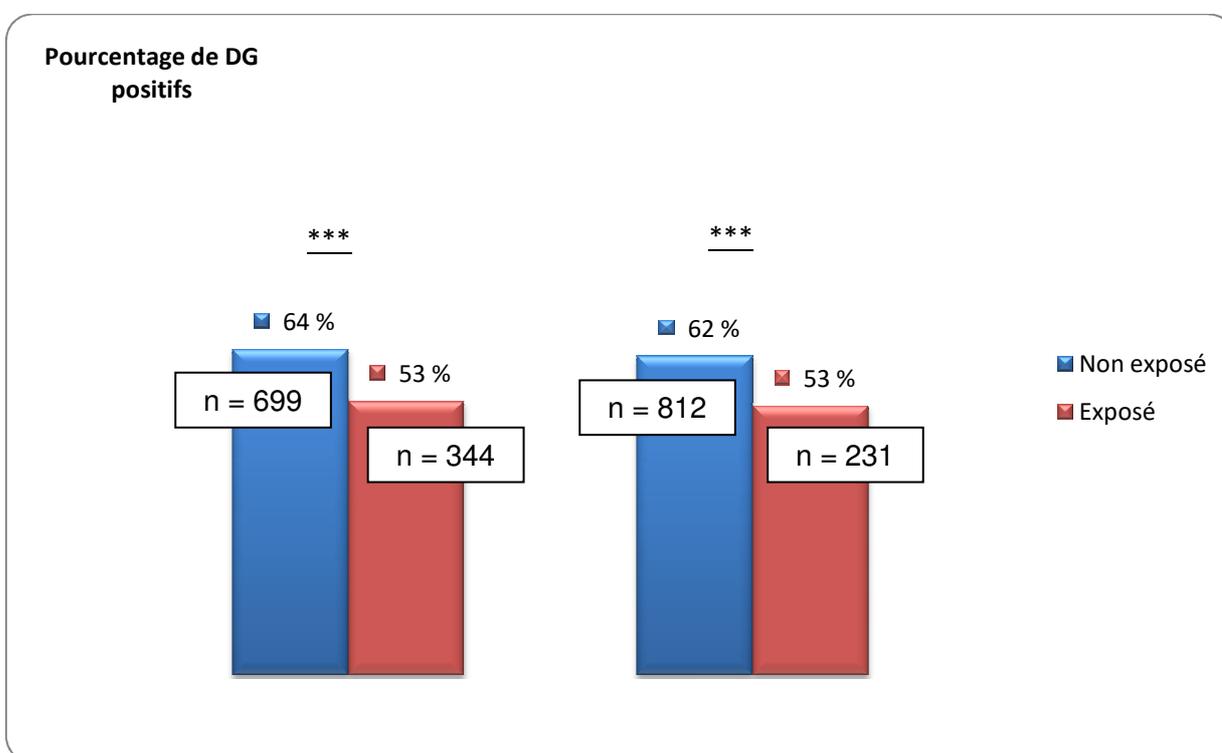


DG : diagnostic de gestation ; IA : insémination artificielle ; THI : indice température-humidité ; *** : $p < 0,001$

3. Comparaison de l'impact de la durée d'exposition à un épisode de stress thermique (THI > 70) dans les 15 jours précédant l'insémination sur la réussite à l'IA

La Figure 15 présente la comparaison de l'impact de la durée d'exposition (> 1 jour ou > 5 jours) à un épisode de stress thermique modéré (THI > 70) intervenant durant les 15 jours précédant l'insémination sur la réussite à l'IA (objectivée par la proportion de vaches présentant un résultat positif au diagnostic de gestation). On observe dans les deux situations (épisode court, > 1 jour ou épisode plus long, > 5 jours) une diminution significative ($p < 0,001$) du taux de gestation (respectivement - 16 % et -9 %) dans les groupes exposés à des épisodes de stress thermique (en rouge) par rapport aux groupes non exposés (en bleu). En revanche, ce différentiel n'apparaît pas plus élevé en cas de durée d'exposition plus élevée à un épisode de stress thermique.

Figure 15. Comparaison de l'impact de la durée d'exposition (> 1 jour vs > 5 jours) à un épisode de stress thermique (THI > 70) dans les 15 jours précédant l'insémination sur la réussite à l'IA

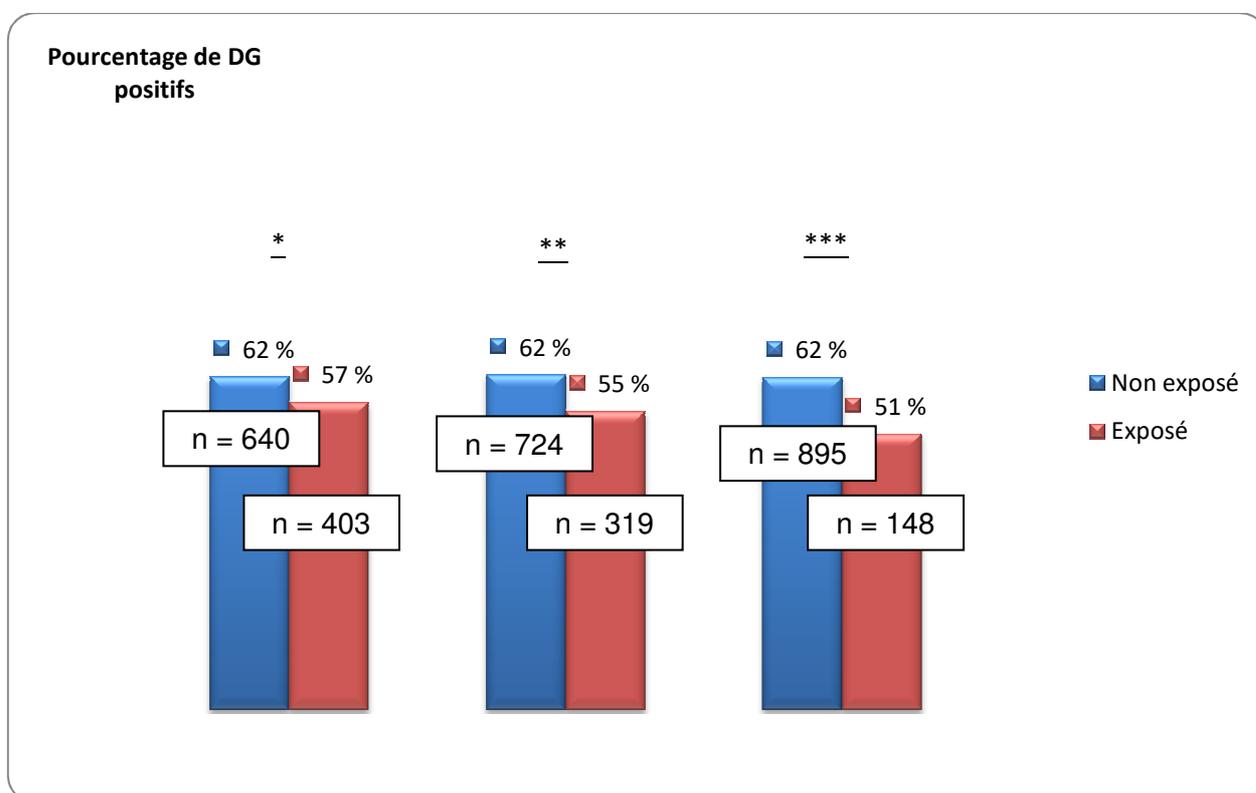


DG : diagnostic de gestation ; IA : insémination artificielle ; THI : indice température-humidité ; *** : $p < 0,001$

4. Comparaison du moment de survenue de l'épisode de stress thermique (THI > 80) par rapport à l'insémination sur la réussite à l'IA

La Figure 16 présente la comparaison de l'impact du moment de survenue de l'épisode de stress thermique (au moins une journée avec un THI > 80) par rapport à l'insémination sur la réussite à l'IA (objectivée par la proportion de vaches présentant un résultat positif au diagnostic de gestation). On observe dans les trois situations d'étude (90 jours avant IA, 60 jours avant IA et 15 jours avant IA) une diminution significative (respectivement $p < 0,05$; $p < 0,01$ et $p < 0,001$) du taux de gestation (respectivement - 5 %, - 7 % et - 11 %) dans les groupes exposés à des épisodes de stress thermique (en rouge) par rapport aux groupes non exposés (en bleu). Une diminution du taux de réussite à l'IA est observée dès 90 jours avant la réalisation de l'IA. La diminution du taux de réussite à l'IA est d'autant plus forte que l'épisode de stress thermique est proche de la réalisation de l'IA.

Figure 16. Comparaison du moment de survenue de l'épisode de stress thermique (au moins une journée avec un THI > 80) par rapport à l'insémination sur la réussite à l'IA



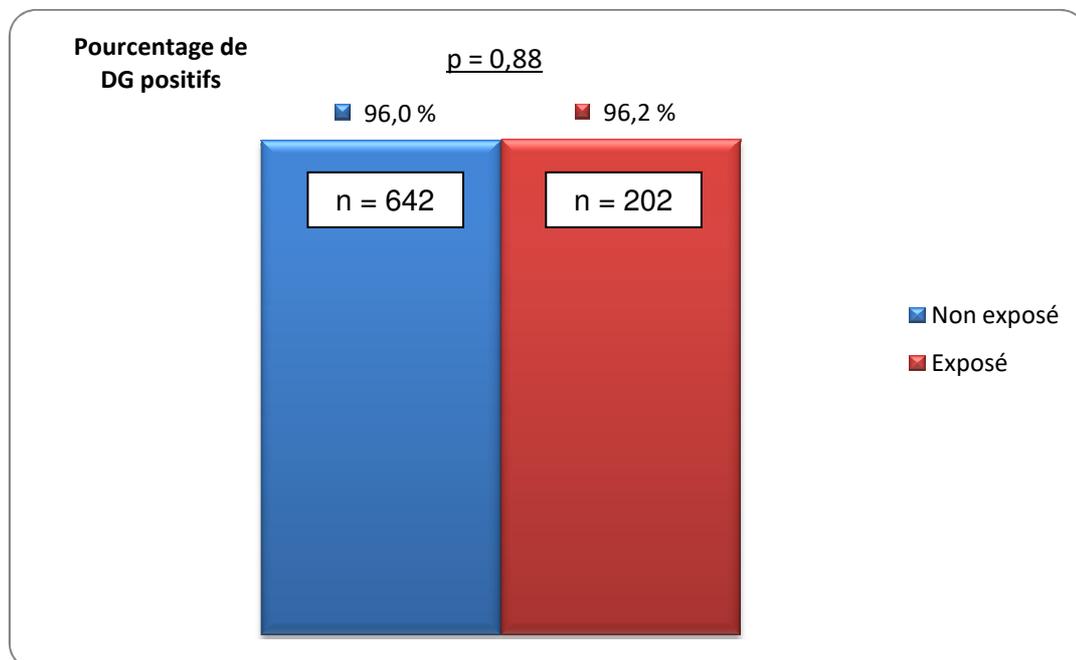
DG : diagnostic de gestation ; IA : insémination artificielle ; THI : indice température-humidité ; j : jour ;
*** : $p < 0,001$; ** : $p < 0,01$; * : $p < 0,05$

C. Etude de l'effet du stress thermique sur les avortements précoces

Ici, nous nous intéressons à la survie de l'embryon dans ses premiers mois de vie, afin d'investiguer l'implication potentielle de la survenue d'un épisode de stress thermique sur la poursuite de la gestation. Le tableau de contingence est mis à disposition dans l'Annexe 2.

La Figure 17 présente le pourcentage de vaches ayant eu un résultat positif à l'échographie de contrôle de gestation (estimant le taux de survie des fœtus) en fonction de l'exposition (en rouge) ou non (en bleu) à un épisode de stress thermique (THI > 80) d'au moins une journée durant la période comprise entre le diagnostic de gestation précoce (30 à 50 jours post IA) et la réalisation du contrôle échographique (90 jours post IA). Nos résultats n'indiquent pas de différence significative entre les groupes exposés et non exposés.

Figure 17. Impact sur la survie embryonnaire (DG positif) de la survenue d'un épisode de stress thermique (au moins une journée avec un THI > 80) entre le diagnostic de gestation précoce (30-50 jours post IA) et la fin du premier tiers de la gestation (90 jours post IA)



DG : Diagnostic de gestation ; THI : Indice température-humidité ; IA : insémination artificielle

IV. Discussion

A. Protocole

1. Animaux

Nous avons inclus dans notre étude 566 vaches de race prim'holstein (1^{re} race bovine présente sur le territoire français devant la race charolaise) sur cinq ans, de rang de lactation moyen 3, avec environ 200 vaches en lactation en simultané. En France, en 2020, seules 4 % des exploitations comptaient plus de 150 vaches laitières (2/3 des exploitations comptent moins de 70 vaches laitières) d'après l'Institut de l'élevage et CNE, 2021, notre ferme d'étude fait donc partie des exploitations de grande taille au regard du territoire français. En Ile-de-France, on compte 5 607 bovins laitiers pour 70 éleveurs, ce qui fait une moyenne de 80 bovins par élevage. Nous resterons donc prudents dans le fait d'étendre nos résultats à la population générale de bovins laitiers, les contraintes et gestion d'un élevage de 200 têtes en production n'étant pas les mêmes que celles d'un élevage de 70 laitières.

La moyenne du niveau de production sur nos cinq années d'étude s'élève à un peu plus de 9 000 kg de lait, quand la filière lait française annonce une moyenne de 7 236 kg par vache (toutes races confondues) et par an en 2020 (Institut de l'élevage et CNE, 2021). L'élevage concerné par notre étude présente donc un troupeau de vaches laitières hautes productrices, qui sont plus sensibles aux problèmes de reproduction (facteur génétique) mais aussi, au stress thermique, en particulier à cause d'un métabolisme plus élevé qui génère d'avantage de chaleur endogène (deux fois plus de chaleur endogène produite par une vache produisant plus de 9 000 litres que par une plus faible productrice (Noordhuizen et Bonnefoy, 2011)).

Nous serons également prudents dans le sens où la ferme de Grignon est un élevage expérimental qui réalise régulièrement des études au sujet de l'alimentation des bovins. Nous n'avons pas intégré ce paramètre dans notre étude, bien que ces changements de rations puissent avoir aussi un impact sur les résultats à la reproduction des animaux.

2. Données d'élevage

Notre recrutement nous a permis de rassembler 1 741 résultats de DG en première échographie et 879 résultats de DG en deuxième échographie. Ces résultats ont été recueillis au cours de suivis de reproduction sur les cinq années sur lesquelles nous avons porté notre étude. Il s'agit d'une étude rétrospective, avec recueil de données d'élevage, à la manière de l'étude réalisée par Gwazdauskas *et al.*, en 1975, qui avait rassemblé les données d'élevage d'une station expérimentale en Floride sur une période de 11 ans, avec 5 062 résultats de DG en première échographie. L'étude de Zeron *et al.*, 2001 est parvenu quant à elle à totaliser plus de 200 000 vaches de races holstein pour ce qui est de la partie de l'étude du taux de conception. Nous avons donc un recrutement plutôt faible par rapport à d'autres études construites sur le même modèle, c'est-à-dire, comme une étude statistique de données d'élevage recueillies *a posteriori*. De plus, comme Gwazdauskas *et al.* (1975), et contrairement à Zeron *et al.* (2001), nous avons étudié un seul élevage, ce qui limite l'extrapolation possible de nos résultats, mais ce qui permet de garantir une relative homogénéité de conduite d'élevage pour les animaux exposés et les animaux non exposés sur la période considérée.

Les pourcentages de DG positifs doivent également être interprétés avec précaution, car toutes les IA ont été prises en compte dans le calcul, quel que soit leur rang. Il ne s'agit aucunement d'un taux de réussite en première IA, ce qui explique les valeurs relativement élevées de taux de DG positifs (50 à 65 % de DG positifs, quand la moyenne du taux de réussite en première IA dans les troupeaux français composés de prim'holstein présentant une production supérieure à 9 000 kg de lait s'élève à 46 % d'après l'observatoire Reproscope).

3. Données météorologiques

Les données météorologiques recueillies sont celles fournies par la station météorologique de l'élevage, avec un relevé journalier. Il s'agit donc des conditions météorologiques à l'extérieur des bâtiments et non de la température et de l'humidité auxquelles sont réellement soumis les animaux. De plus, le bâtiment comporte deux zones principales dont les conditions d'ambiance ne sont pas parfaitement équivalentes. Pour autant, les conditions extérieures influencent l'ambiance du bâtiment. Nous avons l'avantage d'avoir des données très locales, mais qui restent les conditions extérieures des bâtiments. Pour leurs travaux, Gwazdauskas *et al.*, (1975) avaient également utilisé des données météorologiques extérieures, mais à une échelle moins locale puisqu'elles leur avaient été fournies par l'Université de Floride, tout comme Roth *et al.*, (2001) dont les données météorologiques provenaient d'une station météorologique située à 3 km de l'élevage. Une piste d'amélioration pourrait être d'étudier le niveau de stress thermique réel à l'intérieur des bâtiments, en recueillant les données d'ambiance dans chaque bâtiment accueillant des animaux mis à la reproduction.

4. Méthodologie

Dans les études que nous avons exposées plus tôt, le THI n'est soit pas réellement utilisé, comme c'est le cas dans l'étude de Zeron *et al.* (2001) qui scinde l'année en saisons et étudie les lots en fonction de la période de l'année, ou bien le seuil de stress est défini comme étant égal à 70 ou 72 comme dans l'étude de Roth *et al.* (2001). Nous avons pris le parti de déterminer deux niveaux de stress : celui choisi dans l'étude de Roth (THI > 70), et un niveau de stress plus élevé (THI > 80) pour essayer de dégager un éventuel impact du niveau de stress sur la fertilité des animaux. Le niveau de stress implique un effet plus ou moins important sur la production laitière (Verdoolaege, 2020), aussi nous souhaitons essayer de déterminer si une tendance similaire pouvait être dégagée au niveau de la reproduction. Nous avons aussi souhaité étudier différentes durées d'exposition à l'épisode de stress thermique avant insémination pour essayer de déterminer dans quelle mesure une exposition plus ou moins ancienne par rapport à l'insémination pouvait avoir des effets et le cas échéant, s'ils étaient plus ou moins prononcés. Cela nous a permis d'explorer les résultats exposés par Roth dans son étude de 2001 (Roth *et al.*, 2001), selon laquelle les effets du stress thermique pouvaient se répercuter sur quatre cycles suivant l'exposition à l'épisode de stress thermique. Ainsi, une exposition dans les 15 jours précédant l'IA correspond à une exposition au cours du cycle en cours, une exposition dans les 60 jours précédant l'IA correspond à une exposition durant l'un des deux à trois cycles précédant l'insémination et une exposition dans les 90 jours précédant l'IA correspond à une exposition durant l'un des quatre cycles précédant l'insémination. Nous aurions éventuellement pu affiner la question en évaluant une exposition intervenant sur un jour précis du cycle en cours ou des cycles précédents, au moment de l'ovulation par exemple, ou bien au moment de la lutéolyse.

Nous nous sommes penchés sur deux questions précises : l'effet du stress thermique sur la réussite de l'insémination et son impact sur la mortalité embryonnaire tardive et la mortalité fœtale avant 90 jours. La première avait pour but d'étudier la pertinence d'une insémination dans les jours à mois succédant un épisode de stress thermique. La seconde nous semblait intéressante, car concernant une période critique de la gestation (15 % de pertes embryonnaires entre 21-24 et 80-100 jours d'après Grimard *et al.*, (2006)).

Les résultats de notre étude indiquent un lien entre le stress thermique et la reproduction de la vache laitière en climat tempéré à tendance océanique, mais de nombreux paramètres d'élevage, que nous n'avons pas pu prendre en compte dans notre étude, peuvent également avoir une influence sur les résultats de reproduction en élevage. En effet, la ferme dans laquelle nous avons réalisé notre étude conduit de façon quasi continue des essais alimentaires, dont nous n'avons pas pu avoir le détail. Cependant, tous les animaux ne rentrent pas dans les essais alimentaires. Aussi, nous avons supposé que ce facteur de variation interagissait de façon aléatoire avec les épisodes de stress thermique et que ce biais potentiel serait lissé sur l'ensemble de la période d'étude (cinq ans). Pour analyser plus en détail l'impact de ces facteurs de variation, une analyse multivariée incluant en plus du facteur alimentaire la prise en compte d'autres paramètres tels que le stade *post-partum*, la NEC, le niveau de production moyen, la parité, le rang de l'IA, l'intervalle entre l'insémination et le vêlage précédent, la présence d'atteintes cliniques (mammites, infections utérines, troubles métaboliques, boiteries...) pourrait permettre de préciser les effets spécifiques imputables au stress thermique. Il faut également bien noter qu'ici, nous avons étudié des données qui ne sont pas indépendantes (vaches recrutées à plusieurs reprises, pour plusieurs IA successives ou pour plusieurs mises à la reproduction successives). Nos premières analyses statistiques pourraient ainsi être complétées par une analyse multivariée complexe qui permettrait de confirmer et d'affiner les résultats obtenus

B. Résultats

Nos résultats semblent donc indiquer, comme cela avait été démontré dans d'autres études (Gwazdauskas *et al.*, 1975 ; Udomprasert et Williamson, 1987 ; Ealy *et al.*, 1993 ; Roth *et al.*, 2001 ; Zeron *et al.*, 2001 ; Cortvrindt et Smitz, 2001 ; López-Gatius, 2003 ; Maya-Soriano *et al.*, 2013 ; Stamperna *et al.*, 2020), qu'un stress thermique avant insémination peut induire une dégradation des résultats de reproduction avec des répercussions pouvant s'étaler sur plusieurs mois suivant la survenue de l'épisode de stress thermique. En revanche, nous ne sommes pas parvenus à la même conclusion au sujet des avortements précoces, mais nous pouvons nous demander si toutes les vaches présentées en première échographie et positives à l'issue de celle-ci avaient bien été présentées en deuxième échographie. Il est en effet probable que l'éleveur s'il a vu sa vache revenir en chaleurs, l'aura lui-même considéré non gestante et l'aura faite inséminer sans qu'elle n'apparaisse dans nos données.

La première partie de notre étude nous permet néanmoins de constater un réel effet du stress thermique sur les vaches et ce, dès les premières heures d'exposition à un THI > 70, comme cela avait été avancé par Schüller *et al.* (2014), qui avaient montré un effet dès une heure d'exposition à un THI supérieur à 73. De plus, l'effet peut se répercuter sur plusieurs mois. Nous avons en effet constaté une différence significative y compris dans le cas où la période d'étude s'élevait à trois mois avant IA, tout comme Roth *et al.*, (2001) avaient observé un effet sur quatre cycles suivant l'épisode d'exposition au stress.

Pour ce qui est des variables que nous avons étudiées, l'intensité du stress subit ne semble pas avoir d'impact sur la réussite à l'insémination, puisque dans la situation d'une exposition à un THI > 70, le pourcentage de DG positifs passe de 64 % chez les non exposés à 53 % chez les exposés ($p < 0,001$) et que pour un seuil défini à THI > 80, on passe de 62 % à 51 % ($p < 0,001$). La durée d'exposition ne semble pas non plus impactante, puisque aucune différence n'a été observée entre le groupe dont l'exposition durait au moins une journée et celui où il durait au moins cinq jours (53 % de DG positifs dans les deux situations pour les exposés).

En revanche, l'antériorité de l'exposition à un épisode de stress thermique, que nous avons souhaité étudier suite aux résultats obtenus par Roth *et al.*, (2001) semble avoir un effet sur le taux de réussite à l'insémination. D'après notre étude, plus l'exposition intervient proche de l'IA, plus le taux de réussite à l'insémination est dégradé. Pour un taux de DG positifs de 62 % chez les groupes non exposés, on passe à 57 % si le stress intervient dans les 90 jours avant insémination, à 55 % si il intervient dans les 60 jours et à 51 % dans le cas d'un stress intervenant dans les 15 jours avant insémination. Si nous avons observé un effet qui perdure dans le temps à l'image de ce qu'exposaient Roth *et al.* (2001) il est d'autant plus fort que l'IA intervient rapidement après l'exposition. Cette majoration de l'effet délétère du stress thermique sur la réussite à l'IA pourrait s'expliquer par le fait qu'au-delà de la dégradation de la qualité de l'ovocyte, le stress thermique induit d'autres conséquences (modification de la vascularisation utérine, altération de la fonctionnalité du corps jaune et de l'endomètre) qui viennent également impacter le bon déroulement des étapes initiales de mise en place de la gestation (Lamming et Mann, 1995 ; Sammad *et al.*, 2020).

C. Perspectives

Les principales modifications physiologiques intervenant chez la vache et pouvant expliquer les résultats observés en cas de stress thermique sont les impacts observés au niveau de l'utérus (modification de vascularisation et de fonctionnalité sécrétoire en particulier), au niveau folliculaire et au niveau hormonale. Nous pourrions envisager d'approfondir cette étude en mesurant les taux hormonaux sanguins (en particulier LH et progestérone dont Sammad *et al.*, (2020) a montré l'influence sur la mise en place et le maintien de la gestation) en cas de stress thermique. Un autre axe d'étude pourrait être d'évaluer la vascularisation utérine à l'aide d'une échographie Doppler par exemple et la fonction sécrétoire de l'utérus en analysant les variations de composition du fluide utérin en cas de stress thermique.

Ces résultats doivent aussi nous amener à nous interroger sur l'avenir de nos pratiques dans un contexte de réchauffement global et à réfléchir à des alternatives ou à des solutions permettant de favoriser le confort thermique des bovins. Certaines solutions de rafraîchissement de l'ambiance ou des animaux existent déjà mais il pourrait être intéressant également de réfléchir à la balance bénéfique/risque d'un retour à une mise à la reproduction saisonnée des bovins pour limiter la superposition entre les périodes de mise à la reproduction et les périodes à risque (trois mois suivant une période de stress thermique). Cela demanderait bien sûr une étude plus approfondie de l'impact économique des différentes stratégies au niveau de l'élevage.

Conclusion

La fonction de reproduction est une fonction complexe, qui fait intervenir de nombreux mécanismes de régulation. Cette régulation très fine la rend particulièrement sensible aux variations environnementales, en particulier aux conditions climatiques. De nombreuses études ont été menées sur le sujet, permettant de supposer un effet du stress thermique intervenant précocement, et pouvant persister dans le temps, ce qui nous a amené à rechercher un effet du stress thermique sous nos latitudes.

Il semblerait donc, à la lumière de nos résultats, qu'un stress thermique, même modéré (THI au moins égal à 70) et ponctuel (au minimum une journée) pourrait induire des effets sur la fertilité des vaches laitières, et ce, dès le premier jour d'exposition, puisqu'on a observé une différence de 15 points entre un groupe exposé et un groupe non exposé dans ces conditions. Il semblerait également qu'une exposition intervenant dans les trois mois précédant l'IA pourrait avoir un effet néfaste sur la fertilité. Ces éléments seraient alors à considérer dans un contexte d'optimisation de la production, autant d'un point de vue zootechnique qu'économique.

Des solutions existent et peuvent être mises en place à l'échelle de l'individu et de l'élevage, afin d'améliorer le confort des animaux dans un contexte de fortes chaleurs. Ces aménagements doivent être envisagés dans le cadre d'une recherche d'amélioration des résultats à la reproduction en période de fortes chaleurs, mais représentent également un intérêt pour assurer le confort des animaux, et améliorer leurs capacités de production et leur santé à l'occasion d'épisodes de stress thermique.

Dans un contexte de réchauffement global, ces questions sont d'actualité et doivent retenir l'attention des éleveurs, mais aussi de tous les intervenants en élevage susceptibles de les accompagner sur le sujet.

Liste des références bibliographiques

- AGROPARISTECH (2021) Bienvenue à la ferme de Grignon. *In Ferme de Grignon*. [https://www.fermedegrignon.fr/] (consulté le 30/08/2021).
- ALVES DE OLIVEIRA L., ARCANGIOLI M., MOUNIER L., *et al.* (2008) Apporter de la valeur ajoutée au suivi de reproduction. *Point Vet* 39(289), 47-52
- AMBROSE D.J. (2014) Postpartum Anestrus and Its Management in Dairy Cattle. *In Bovine Reproduction*, Eds Hopper R.M. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd, pp 456-470
- AMSTALDEN M., WILLIAMS G.L. (2014) Neuroendocrine Control of Estrus and Ovulation. *In Bovine Reproduction*, Eds Hopper R.M. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd, pp 203-218
- ARMSTRONG D.V. (1994) Heat stress interaction with shade and cooling. *J Dairy Sci* 77(7), 2044-2050
- AUSTIN E.J., MIHM M., RYAN M.P., WILLIAMS D.H., ROCHE J.F. (1999) Effect of duration of dominance of the ovulatory follicle on onset of estrus and fertility in heifers. *J Anim Sci* 77(8), 2219-2226
- BARONE R. (1976) Anatomie comparée des Mammifères domestiques . tome 3 fascicule 1, Splanchnologie, fœtus et ses annexes Appareil digestif, appareil respiratoire. Lyon, École nationale vétérinaire, Laboratoire d'anatomie
- BLEACH E.C.L., GLENCROSS R.G., KNIGHT P.G. (2004) Association between ovarian follicle development and pregnancy rates in dairy cows undergoing spontaneous oestrous cycles. *Reproduction* 127(5), 621-629
- BREEN K.M., KARSCH F.J. (2004) Does cortisol inhibit pulsatile luteinizing hormone secretion at the hypothalamic or pituitary level? *Endocrinology* 145(2), 692-698
- BRONGNIART I., GUYONVARCH A., KERSALE P., BOUTES J.L. (1998) Facteurs influençant les paramètres de reproduction chez la vache laitière. *In Rencontres Recherche Ruminants*, 02-03 décembre, Paris, France, pp 84
- CARGILE B., TRACY D. (2014) Interaction of Nutrition and Reproduction in the Dairy Cow. *In Bovine Reproduction*, Eds Hopper R.M. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd, pp 283-289
- CARRIÈRE P.D. (2012) Physiologie du système reproducteur de la vache laitière / I. Le cycle oestral. *In Vade-Mecum de gestion de la reproduction des bovins laitiers*, Eds DesCôteaux L., Vaillancourt D. Paris, Med'Com, pp 13-18
- CONSTANT F., MAUFFRÉ V., TIRET L. (2017) Connaissance et maîtrise de la reproduction. Polycopié. EnvA, UP Reproduction animale
- CORTVRINDT R., SMITZ J. (2001) In vitro follicle growth: achievements in mammalian species. *Reprod Domest Anim* 36(1), 3-9
- COSSON J.-L. (2005) La place de la reproduction dans l'économie de la production laitière. *In Journée de l'AERA*, Economie et reproduction en élevage bovin laitier, EnvA, 6 décembre, Marcy l'Etoile, France, Association pour l'étude de la reproduction animale, pp 53-62

- CROWE M.A., DISKIN M.G., WILLIAMS E.J. (2014) Parturition to resumption of ovarian cyclicity: comparative aspects of beef and dairy cows. *Animal* 8 S1, 40-53
- CURTIS S.E. (1983) Environmental management in animal agriculture. Iowa State University Press
- DRANSFIELD M.B., NEBEL R.L., PEARSON R.E., WARNICK L.D. (1998) Timing of insemination for dairy cows identified in estrus by a radiotelemetric estrus detection system. *J Dairy Sci* 81(7), 1874-1882
- DUCROT C., GRÖHN Y.T., HUMBLOT P., *et al.* (1994) Postpartum anestrus in French beef cattle: An epidemiological study. *Theriogenology* 42(5), 753-764
- EALY A.D., DROST M., HANSEN P.J. (1993) Developmental changes in embryonic resistance to adverse effects of maternal heat stress in cows. *J Dairy Sci* 76(10), 2899-2905
- EDWARDS J.L., EALY A.D., MONTERROSO V.H., HANSEN P.J. (1997) Ontogeny of temperature-regulated heat shock protein 70 synthesis in preimplantation bovine embryos. *Mol Reprod Dev* 48(1), 25-33
- EDWARDS J.L., HANSEN P.J. (1997) Differential responses of bovine oocytes and preimplantation embryos to heat shock. *Mol Reprod Dev* 46(2), 138-145
- ENNUYER M. (2009) Mise en place du suivi de troupeau en élevage laitier : étude d'un cas. *Bull GTV Hors-série Médecine de troupeau : cas concrets en élevage*, 85-94
- FOURICHON C., SEEGER H., BAREILLE N., MALHER X. (2000) Effet de la cétose sur la reproduction des vaches laitières : quantification par méta-analyse. *In Journées Rencontres Recherches Ruminant*, 6-7 décembre, Paris, France, pp 109
- FRICKE P.M. (2002) Scanning the Future—Ultrasonography as a Reproductive Management Tool for Dairy Cattle. *J Dairy Sci* 85(8), 1918-1926
- FRIEDMAN E., VOET H., REZNIKOV D., WOLFENSON D., ROTH Z. (2014) Hormonal treatment before and after artificial insemination differentially improves fertility in subpopulations of dairy cows during the summer and autumn. *J Dairy Sci* 97(12), 7465-7475
- GAYRARD V. (2012) Physiologie du système reproducteur de la vache laitière / IV. La période post-partum : involution utérine et reprise de la cyclicité ovarienne. *In Vade-Mecum de gestion de la reproduction des bovins laitiers*, Eds DesCôteaux L., Vaillancourt D. Paris, Med'Com, pp 13-18
- GILLUND P., REKSEN O., GRÖHN Y.T., KARLBERG K. (2001) Body Condition Related to Ketosis and Reproductive Performance in Norwegian Dairy Cows. *J Dairy Sci* 84(6), 1390-1396
- GONÇALVES R. (2013) Effect of heat stress on the maturation, fertilization and development rates of in vitro produced bovine embryos. *Open J Anim Sci* 3, 174
- GRIMARD B., FRERET S., CHEVALLIER A., *et al.* (2006) Genetic and environmental factors influencing first service conception rate and late embryonic/foetal mortality in low fertility dairy herds. *Anim Reprod Sci* 91(1-2), 31-44
- GWAZDAUSKAS F.C., WILCOX C.J., THATCHER W.W. (1975) Environmental and managemental factors affecting conception rate in a subtropical climate. *J Dairy Sci* 58(1), 88-92
- HAFEZ E.S.E. (1993) Reproduction in farm animals, 6ème. ed. Philadelphia, Lea & Febiger

- HAMMON D.S., WANG S., HOLYOAK G.R. (2000) Effects of ammonia during different stages of culture on development of in vitro produced bovine embryos. *Anim Reprod Sci* 59(1), 23-30
- HANSEL W., CONVEY E.M. (1983) Physiology of the estrous cycle. *J Anim Sci* 57 Suppl 2, 404-424
- HANSEN P.J. (2007) Hidden Factors Affecting Fertility. *Adv Dairy Technol* 19, 339-349
- HANSEN P.J., AREÉCHIGA C.F. (1999) Strategies for managing reproduction in the heat-stressed dairy cow. *J Anim Sci* 77(suppl_2), 36-50
- HANZEN C., LOURTIE O., DRION P.V. (2000) Le développement folliculaire chez la vache I. Aspects morphologiques et cinétiques. *Ann Med Vet* 144, 225-235
- HANZEN C. (2008) La détection de l'oestrus chez les ruminants. Polycopié. Université de Liège, Service de Thériogenologie des animaux de production
- HONIG H., MIRON J., LEHRER H., *et al.* (2012) Performance and welfare of high-yielding dairy cows subjected to 5 or 8 cooling sessions daily under hot and humid climate. *J Dairy Sci* 95(7), 3736-3742
- l'ANSON H., MANNING J.M., HERBOSA C.G., *et al.* (2000) Central inhibition of gonadotropin-releasing hormone secretion in the growth-restricted hypogonadotropic female sheep. *Endocrinology* 141(2), 520-527
- INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, CNE (2021) Les chiffres clés du GEB - Bovins 2021. In IDELE. [<https://idele.fr/detail-article/les-chiffres-cles-du-geb-bovins-2021>] (consulté le 13/12/2021).
- JORDAN E.R. (2003) Effects of Heat Stress on Reproduction. *J Dairy Sci* 86, E104-E114
- KENDALL P., NIELSEN P., WEBSTER J., *et al.* (2006) The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livest Sci* 103, 148-157
- KIMURA K., GOFF J.P., KEHRLI M.E., REINHARDT T.A. (2002) Decreased neutrophil function as a cause of retained placenta in dairy cattle. *J Dairy Sci* 85(3), 544-550
- LAMMING G.E., MANN G.E. (1995) Control of endometrial oxytocin receptors and prostaglandin F2 alpha production in cows by progesterone and oestradiol. *J Reprod Fertil* 103(1), 69-73
- LEONHARDT, SHAHAB, WUTTKE (1999) Reduction of luteinizing hormone secretion induced by long-term feed restriction in male rats is associated with increased expression of GABA-synthesizing enzymes without alterations of GnRH gene expression. *J Neuroendocrinol* 11(8), 613-619
- LESHIN L.S., RUND L.A., CRIM J.W., KISER T.E. (1988) Immunocytochemical localization of luteinizing hormone-releasing hormone and proopiomelanocortin neurons within the preoptic area and hypothalamus of the bovine brain. *Biol Reprod* 39(4), 963-975
- LESSARD M., GAGNON N., GODSON D.L., PETIT H.V. (2004) Influence of parturition and diets enriched in n-3 or n-6 polyunsaturated fatty acids on immune response of dairy cows during the transition period. *J Dairy Sci* 87(7), 2197-2210
- LÓPEZ-GATIUS F. (2003) Is fertility declining in dairy cattle? A retrospective study in northeastern Spain. *Theriogenology* 60(1), 89-99
- LÓPEZ-GATIUS F., LÓPEZ-BÉJAR M., FENECH M., HUNTER R.H.F. (2005) Ovulation failure and double ovulation in dairy cattle: risk factors and effects. *Theriogenology* 63(5), 1298-1307

- MAATJE K., LOEFFLER S.H., ENGEL B. (1997) Predicting Optimal Time of Insemination in Cows that Show Visual Signs of Estrus by Estimating Onset of Estrus with Pedometers. *J Dairy Sci* 80(6), 1098-1105
- MAUFFRÉ V. (2015) Détection des chaleurs. Polycopié. EnvA, UP Reproduction animale
- MAYA-SORIANO M.J., TABERNER E., LÓPEZ-BÉJAR M. (2013) Retinol improves in vitro oocyte nuclear maturation under heat stress in heifers. *Zygote* 21(4), 377-384
- MCCANN J.P., HANSEL W. (1986) Relationships between insulin and glucose metabolism and pituitary-ovarian functions in fasted heifers. *Biol Reprod* 34(4), 630-641
- MIHM M., BAGUISI A., BOLAND M.P., ROCHE J.F. (1994) Association between the duration of dominance of the ovulatory follicle and pregnancy rate in beef heifers. *J Reprod Fertil* 102(1), 123-130
- MILLERIOUX (2021) Stress thermique : comprendre et limiter les perturbations acido-basiques. In *SNGTV*. [<https://www2.sngtv.org/article-bulletin/stress-thermique-comprendre-et-limiter-les-perturbations-acido-basiques/>] (consulté le 04/12/2021).
- MORDAK R., ANTHONY S.P. (2015) Periparturient stress and immune suppression as a potential cause of retained placenta in highly productive dairy cows: examples of prevention. *Acta Vet Scand* 57(84)
- NOORDHUIZEN J., BONNEFOY J. (2011) Maîtriser le stress thermique chez la vache laitière. *Bull GTV* 60, 78-86
- OCON O.M., HANSEN P.J. (2003) Disruption of bovine oocytes and preimplantation embryos by urea and acidic pH. *J Dairy Sci* 86(4), 1194-1200
- OSBURN D., HAHN L. (1968) Economics of environmental control for livestock. *Can J Agr Econ* 16(3), 116-124
- PACCARD P. (2005) Les frais liés à la reproduction dans les systèmes bovins laitiers. In *Journée de l'AERA, Economie et reproduction en élevage bovin laitier*, EnvA, 6 décembre, Marcy l'Étoile, France, Association pour l'étude de la reproduction animale, pp 29-34
- PALTA P., MONDAL S., PRAKASH B.S., MADAN M.L. (1997) Peripheral inhibin levels in relation to climatic variations and stage of estrous cycle in buffalo (*Bubalus bubalis*). *Theriogenology* 47(5), 989-995
- PETERS A.R., BALL P. (1996) *Reproduction in Cattle*, 2nd ed. Oxford, Wiley-Blackwell
- PICARD-HAGEN N., HANZEN C., CHASTANT S. (2012) Examen génital et méthodes de diagnostic. In *Vade-Mecum de gestion de la reproduction des bovins laitiers*, Eds Vaillancourt D., DesCôteaux L. Paris, Med'Com, pp 13-18
- RAHE C.H., OWENS R.E., FLEEGER J.L., NEWTON H.J., HARMS P.G. (1980) Pattern of Plasma Luteinizing Hormone in the Cyclic Cow: Dependence upon the Period of the Cycle. *Endocrinology* 107(2), 498-503
- RAJALA-SCHULTZ P.J., SAVILLE W.J.A., FRAZER G.S., WITTUM T.E. (2001) Association Between Milk Urea Nitrogen and Fertility in Ohio Dairy Cows. *J Dairy Sci* 84(2), 482-489
- RANDEL R.D. (1981) Effect of Once-Daily Suckling on Postpartum Interval and Cow-Calf Performance of First-Calf Brahman × Hereford Heifers. *J Anim Sci* 53(3), 755-757

- RIVERA R.M., KELLEY K.L., ERDOS G.W., HANSEN P.J. (2004) Reorganization of Microfilaments and Microtubules by Thermal Stress in Two-Cell Bovine Embryos¹. *Biol Reprod* 70(6), 1852-1862
- ROELOFS J.B., GRAAT E.A.M., MULLAART E., *et al.* (2006) Effects of insemination–ovulation interval on fertilization rates and embryo characteristics in dairy cattle. *Theriogenology* 66(9), 2173-2181
- ROTH Z., MEIDAN R., BRAW-TAL R., WOLFENSON D. (2000) Immediate and delayed effects of heat stress on follicular development and its association with plasma FSH and inhibin concentration in cows. *J Reprod Fertil* 120(1), 83-90
- ROTH Z., ARAV A., BOR A., *et al.* (2001) Improvement of quality of oocytes collected in the autumn by enhanced removal of impaired follicles from previously heat-stressed cows. *Reproduction* 122, 737-744
- ROTH Z. (2020) Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress - Experiences from the past and lessons for the present. *Theriogenology* 155, 150-156
- RYAN D.P., BOLAND M.P. (1991) Frequency of twin births among Holstein-Friesian cows in a warm dry climate. *Theriogenology* 36(1), 1-10
- SAMMAD A., UMAR S., ZHAO X., *et al.* (2020) Dairy cow reproduction under the influence of heat stress. *J Anim Physiol Anim Nutr* 104, 978-986
- SCHÜLLER L.K., BURFEIND O., HEUWIESER W. (2014) Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature–humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. *Theriogenology* 81(8), 1050-1057
- SEEGERS H. (2005) Infécondité du troupeau laitier : quel impact économique ? *In Journée de l'AERA, Economie et reproduction en élevage bovin laitier, EnvA, 6 décembre, Marcy l'Etoile, France, Association pour l'étude de la reproduction animale*, pp 21-28
- SEGERSON E.C., MURRAY F.A., MOXON A.L., REDMAN D.R., CONRAD H.R. (1977) Selenium/vitamin E: role in fertilization of bovine ova. *J Dairy Sci* 60(6), 1001-1005
- STAMPERNA K., GIANNOULIS T., NANAS I., *et al.* (2020) Short term temperature elevation during IVM affects embryo yield and alters gene expression pattern in oocytes, cumulus cells and blastocysts in cattle. *Theriogenology* 156, 36-45
- SWANGCHAN-UTHAI T., CHEN Q., KIRTON S.E., *et al.* (2013) Influence of energy balance on the antimicrobial peptides S100A8 and S100A9 in the endometrium of the post-partum dairy cow. *Reproduction* 145(5), 527-539
- TAO S., MONTEIRO A.P.A., THOMPSON I.M., HAYEN M.J., DAHL G.E. (2012) Effect of late-gestation maternal heat stress on growth and immune function of dairy calves. *J Dairy Sci* 95(12), 7128-7136
- UDOMPRASERT P., WILLIAMSON N.B. (1987) Seasonal influences on conception efficiency in Minnesota dairy herds. *Theriogenology* 28(3), 323-336
- VERDOOLAEGE P. (2020) Stress thermique et reproduction : approche théorique et retours du terrain. *In Journées nationales des GTV, 28-30 octobre, Poitiers, France, SNGTV*, pp 6

- WEISSLINGER M. (2021) Le froid arrive : il faut vite mettre les vaches à l'abri ! VRAI ou FAUX – Chaire bien-être animal. *In Chaire BEA VetAgroSup*. [<https://chaire-bea.vetagro-sup.fr/le-froid-arrive-il-faut-vite-mettre-les-vaches-a-labri-vrai-ou-faux/>] (consulté le 16/01/2022).
- WEST J.W., MULLINIX B.G., BERNARD J.K. (2003) Effects of Hot, Humid Weather on Milk Temperature, Dry Matter Intake, and Milk Yield of Lactating Dairy Cows. *J Dairy Sci* 86(1), 232-242
- WETTEMANN R.P. (1980) Postpartum endocrine function of cattle, sheep and swine. *J Anim Sci* 51 Suppl 2, 2-15
- WOLFENSON D., ROTH Z., MEIDAN R. (2000) Impaired reproduction in heat-stressed cattle: basic and applied aspects. *Anim Reprod Sci* 60-61, 535-547
- ZERON Y., OCHERETNY A., KEDAR O., *et al.* (2001) Seasonal changes in bovine fertility: relation to developmental competence of oocytes, membrane properties and fatty acid composition of follicles. *Reproduction* 121(3), 447-454
- ZHANG F.J., WENG X.G., WANG J.F., *et al.* (2014) Effects of temperature-humidity index and chromium supplementation on antioxidant capacity, heat shock protein 72, and cytokine responses of lactating cows. *J Anim Sci* 92(7), 3026-3034

Annexe 1 : Tableaux de contingence des effets du stress thermique sur la réussite à l'IA

Annexe 1A. Résultats de la comparaison des résultats de diagnostics de gestation des groupes exposés ou non à un stress thermique d'intensité élevée (THI > 80) pendant au moins une journée dans les 15 jours précédant l'IA, avec la valeur p du test de chi-2 associé

15 jours avant IA				p < 0,001
Au moins 1 jour à THI > 80	Non exposé	Exposé	Total	
DG négatif	557	141	698	
DG positif	895	148	1043	
Total	1452	289	1741	

IA : Insémination artificielle, THI : Indice température-humidité, DG : Diagnostic de gestation, p : valeur p

Annexe 1B. Résultats de la comparaison des résultats de diagnostics de gestation des groupes exposés ou non à un stress thermique d'intensité modérée à élevée (THI > 70) pendant au moins une journée dans les 15 jours précédant l'IA, avec à la valeur p du test de chi-2 associé

15 jours avant IA				p < 0,001
Au moins 1 jour à THI > 70	Non exposé	Exposé	Total	
DG négatif	399	299	698	
DG positif	699	344	1043	
Total	1098	643	1741	

IA : Insémination artificielle, THI : Indice température-humidité, DG : Diagnostic de gestation, p : valeur p

Annexe 1C. Résultats de la comparaison des résultats de diagnostics de gestation des groupes exposés ou non à un stress thermique d'intensité modérée à élevée (THI > 70) pendant au moins cinq jours dans les 15 jours précédant l'IA, avec à la valeur p du test de chi-2 associé

15 jours avant IA			
Au moins 5 jours à THI > 70	Non exposé	Exposé	Total
DG négatif	490	208	698
DG positif	812	231	1043
Total	1302	439	1741

p < 0,001

IA : Insémination artificielle, THI : Indice température-humidité, DG : Diagnostic de gestation, p : valeur p

Annexe 1D. Résultats de la comparaison des résultats de diagnostics de gestation des groupes exposés ou non à un stress thermique d'intensité élevée (THI > 80) pendant au moins une journée dans les deux mois précédant l'IA, avec à la valeur p du test de chi-2 associé

60 jours avant IA			
Au moins 1 jour à THI > 80	Non exposé	Exposé	Total
DG négatif	441	257	698
DG positif	724	319	1043
Total	1165	576	1741

p < 0,01

IA : Insémination artificielle, THI : Indice température-humidité, DG : Diagnostic de gestation, p : valeur p

Annexe 1E. Résultats de la comparaison des résultats de diagnostics de gestation des groupes exposés ou non à un stress thermique d'intensité élevée (THI > 80) pendant au moins une journée dans les trois mois précédant l'IA, avec à la valeur p du test de chi-2 associé

90 jours avant IA			
Au moins 1 jour à THI > 80	Non exposé	Exposé	Total
DG négatif	395	303	698
DG positif	640	403	1043
Total	1035	706	1741

p < 0,05

IA : Insémination artificielle, THI : Indice température-humidité, DG : Diagnostic de gestation, p : valeur p

Annexe 1F. Résultats de la comparaison des résultats de diagnostics de gestation des groupes exposés ou non à un stress thermique d'intensité modéré à élevée (THI > 70) pendant au moins cinq jours dans les deux mois précédant l'IA, avec à la valeur p du test de chi-2 associé

60 jours avant IA				p = 0,01
Au moins 5 jour à THI > 70	Non exposé	Exposé	Total	
DG négatif	373	325	698	
DG positif	620	423	1043	
Total	993	748	1741	

IA : Insémination artificielle, THI : Indice température-humidité, DG : Diagnostic de gestation, p : valeur p

Annexe 2 : Tableaux de contingence des effets du stress thermique sur la survie embryonnaire

Annexe 2. Résultats de la comparaison des résultats de diagnostics de gestation en échographie de contrôle des groupes exposés ou non à un stress thermique d'intensité élevée (THI > 80) pendant au moins une journée dans les deux mois précédant l'échographie de contrôle, avec à la valeur p du test de chi-2 associé

60 jours avant E2	Non exposé	Exposé	Total	p = 0,88	
Au moins 1 jour à THI > 80					
DG négatif	27	8	35		
DG positif	642	202	844		
Total	669	210	879		

DG : diagnostic de gestation, THI : Indice température-humidité, E2 : échographie de contrôle, p : valeur p

RELATION ENTRE STRESS THERMIQUE DE CHALEUR ET PERFORMANCES DE REPRODUCTION EN ÉLEVAGE BOVIN LAITIER : ÉTUDE PRÉLIMINAIRE À TRAVERS L'EXEMPLE D'UN ÉLEVAGE EN RÉGION ÎLE-DE-FRANCE

AUTEUR : Mathilde HAVRET

RÉSUMÉ :

Dans un contexte de réchauffement climatique global, des épisodes de fortes chaleurs ont des répercussions sur la santé de nos troupeaux, en particulier sur la fonction de reproduction. Si le stress thermique a fait l'objet de nombreuses recherches dans les zones aux climats extrêmes, peu d'études concernent les régions plus tempérées. Dans cette étude, nous nous sommes ainsi intéressés à l'effet du stress thermique sur les performances de reproduction d'un élevage laitier en Île de France, dans des conditions climatiques tempérées avec influence océanique (climat caractérisé par une relative stabilité des variations de température).

Nous avons étudié sur une période de cinq ans (2014-2018) la relation entre la survenue d'épisodes de stress thermique et la réussite à l'insémination. Pour ce faire, nous avons étudié un troupeau de Prim'holstein hautes productrices (> 9 000 kg de lait par lactation) de la région Ile-de-France, qui nous a permis d'obtenir, sur cinq ans, les données de reproduction de 566 vaches, tout rang d'IA confondu. Il semblerait, d'après nos résultats, que le stress thermique s'accompagnerait d'une diminution des performances de reproduction, quelle que soit l'intensité de l'épisode de stress thermique. Ainsi, pour une exposition à un THI > 70 (stress thermique modéré), le taux de réussite à l'insémination (TRIA) passe de 64 % chez les non exposés à 53 % chez les exposés ($p < 0,001$) alors que pour un seuil défini à THI > 80 (stress thermique intense), le TRIA est respectivement de 62 % et de 51 % ($p < 0,001$). La durée d'exposition dans notre étude ne semble pas non plus avoir d'effet, puisque aucune différence significative n'a été observée entre le groupe dont l'exposition durait au moins une journée et celui où il durait au moins cinq jours. De plus, plus l'épisode de stress thermique (ST) est proche de l'insémination, plus le TRIA est faible (62 %, animaux non exposés ; 57 %, ST < 90 j avant IA ; 55 %, ST < 60 j avant IA et à 51 % ST < 15 j avant IA). Enfin, nos résultats suggèrent que les effets du stress thermique sur la reproduction persisteraient dans le temps puisqu'une diminution du TRIA est observée quand un épisode de stress thermique intervient dans les 90 jours précédant une IA. Cette étude reste indicative, puisqu'univariée, quand la fonction de reproduction est une fonction impactée par de nombreux facteurs. Une analyse multivariée permettrait de préciser les résultats obtenus.

Notre étude laisse donc penser qu'il serait possible d'observer un effet du stress thermique sous nos latitudes, en particulier avec un effet sur la fertilité dès la première journée d'exposition à un épisode de stress thermique même modéré. Notre étude semble également montrer une persistance des effets à long terme puisque une diminution de la fertilité a été observée plusieurs mois après l'exposition aux épisodes de stress thermique. Ce phénomène de réchauffement climatique étant destiné à s'accroître dans les années à venir, il devient donc essentiel de réfléchir à des solutions pratiques pour en limiter l'effet sur nos animaux et leurs performances de production en élevage.

MOTS CLÉS :

REPRODUCTION ; BOVIN ; VACHE LAITIÈRE ; STRESS THERMIQUE ; FERTILITE

JURY :

Présidente : Dr Julie RIVIÈRE

Directeur de thèse : Dr Vincent MAUFFRÉ

Examinatrice : Pr Bénédicte GRIMARD-BALLIF

RELATIONSHIP BETWEEN HEAT STRESS AND REPRODUCTIVE PERFORMANCE IN DAIRY CATTLE: PRELIMINARY STUDY THROUGH THE EXAMPLE OF AN EXPERIMENTAL FARM IN ILE-DE-FRANCE

AUTHOR: Mathilde HAVRET

SUMMARY:

With global warming, heat stress is becoming an increasing issue for cattle. In this study, we concentrated on the impact of heat stress on reproductive performance of dairy cattle in one experimental farm in Ile-de-France, in a tempered climate with oceanic influence.

In this study, we investigated the relationship between heat stress period and conception rate over a five years period (2014-2018). We studied a farm in Ile-de-France, composed with Holstein cattle. The milk production is 9 000 kg for each lactation. During five years, we recruit 566 cows whatever the number of insemination it had before. Our results indicate that heat stress impairs reproduction performance regardless of its intensity. Thus, moderate heat stress ($THI > 70$) results in a decrease in conception rate (CR) from 64% (not exposed) to 53% (exposed) and severe heat stress ($THI > 80$) in a decrease from 62% (not exposed) to 51% (exposed) ($p < 0.001$). Duration of exposure to heat stress does not seem to influence conception rate: no significant difference was reported on conception rate between a single day and a five days period of heat stress exposure. Nevertheless, the timing of the heat stress event has an impact on conception rate. As the heat stress (HS) gets closer to artificial insemination (AI), the conception rate is lower (62%, not exposed; 57%, $HS < 90$ days prior to AI; 55%, $HS < 60$ days prior to AI; 51%, $HS < 15$ days prior to AI). Finally, our data suggest a long-term effect of heat stress as a decrease in conception rate is observed when heat stress occurred during the 90 days prior to insemination. This study is indicative because univariate. To precise our study, a multivariate study would be interesting.

This study showed that the effects of heat stress on reproductive performance can be noticed even in climates with temperate conditions, resulting in a decrease in fertility, even in case of moderate heat stress of short duration (from the very first day of exposure). Our study also highlights the long-term effects since a decrease in fertility was observed several months after exposure to heat stress events. With global warming expected to increase in the coming years, it is essential to consider practical solutions to limit its effects on livestock production, health and welfare.

KEYWORDS:

REPRODUCTION; CATTLE; DAIRY CATTLE; HEAT STRESS; FERTILITY

JURY:

Chairperson: Dr Julie RIVIÈRE

Thesis Director: Dr Vincent MAUFFRÉ

Reviewer: Pr Bénédicte GRIMARD-BALLIF