

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE TISSEMSILT

INSTITUT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme
de Master Académique en

Filière : **Sciences Agronomiques**

Spécialité : **Production animal**

Thème

L'EFFET DE L'ALIMENTATION SUR LA REPRODUCTION CHEZ LES VACHES LAITIERES

Présentée par : **BENAFIA Abdelkader**
GUIZ Karim

Soutenu le, ...

Devant le Jury

DRIZI N.	Président	M.A.A	Univ-Tissemsilt
MOHAMED CHERIF A.	Encadrant	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
GUENAOUI M.	Co-encadrant	M.C.A.	Univ-Tissemsilt
MAHMOUD M.S.	Examineur	M.A.A.	Univ-Tissemsilt

Année universitaire : 2025-2026

Liste des figures :

Figure 1 : Représentation du cycle sexuel chez la vache (F.DELETANG in PRID).....	6
Figure 2 : Modification de la concentration hormonale dans le plasma sanguin durant le cycle bovin (PRID).	9
Figure 3 : Récapitulatif du contrôle hormonal du cycle ovarien (PETERS et BALL, 1994). .	12
Figure 4: Intervalle entre deux vêlages, dont l'objectif est d'avoir un veau par vache et par an.	13
Figure 05: Evolution de l'intervalle vêlage-1ère insémination (IV-IA1) de 1995 à 2001 selon le numéro de lactation (Ln) en race Prime Holstein (BOICHARD et al.2002)	18
Figure 06 : Ferme de vache laitière "SOUMMAM"(Google Map)	35
Figure 07: Mélangeuse de distribution.....	36
Figure 08: Box de vêlage	37
Figure 09 : nurserie Age de 1 jour.....	37
Figure 10 : air d'exercice	37
Figure 11 : endroit de stockage d'aliment.....	38
Figure 12 :ETABLE DES VACHES	38
Figure 13 : Ensilage de maïs	39
Figure 14 : La luzerne	41
Figure 15 : La paille	43
Figure 16 : aliment de bétail.....	44
Figure 17 : logiciel UNIFORMA AGRI	45

Liste des tableaux :

Tableau N°01 : synthèse des âges et poids à atteindre à la puberté en fonction des races d'après Le colzer (2009) cité par RINGUET (2019).	Erreur ! Signet non défini.
Tableau N°02 : l'âge de la puberté chez les différentes espèces d'animaux domestiques (Anonyme ;2013).	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 03 : Les principaux critères de mesure des performances de reproduction et les objectifs (Paccard, 1991).....	16
Tableau 04: l'effet du niveau de production laitière sur les chances de conception..... (LUCY, 2001)	19
Tableau 05 : Cheptel totale des fermes	36
Tableau 06 : rationnement ferme 1 :	45
Tableau 07 : Valeur alimentaire de différentes rations	46
Tableau 08 : Ration des vaches laitières	46
Tableau 09 : Ration des vaches taries	46
Tableau 10 : Valeur alimentaire de différentes rations alimentaires (Ferme 2) :.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 11 : Paramètres de Reproduction (ferme 1).....	50
Tableau 12 : Paramètres de Reproduction (ferme 2).....	52
Tableau 13 : Paramètres Zootechniques des deux fermes.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 14 : de Synthèse Comparative des Systèmes Nutritionnels.....	58
Tableau 15 : Analyse quantitative de la reproduction selon les pathologies.....	58

Liste des abréviations :

- AGNE : Acides Gras Non Estérifiés.
- AHHG : Axe hypothalamo-hypophyso-gonadique.
- ARS : Acidose ruminale subclinique.
- BACA : Balance Anions-Cations de la Ration.
- BEN : Bilan énergétique négatif.
- BHB : Béta-hydroxybutyrate.
- Ca : Calcium.
- Cu : Cuivre.
- FSH : Hormone folliculo-stimulante.
- I : Iode.
- IA : Insémination artificielle.
- IA1-**IF** : Intervalle première insémination - insémination fécondante.
- IGF-**1** : Insulin-like Growth Factor 1.
- IGFBP-**1** : IGF-Binding Protein 1.
- IV – **C1** : Intervalle vêlage - première chaleur.
- IV-**IAF** : Intervalle vêlage - insémination fécondante.
- IVV : Intervalle vêlage-vêlage.
- LH : Hormone lutéinisante.
- Ln : Nombre de lactation.
- MAT : Matières azotées totales.
- Mg : Magnésium.
- MS : Matière sèche.

- NEC : Note d'État Corporel.
- P : Phosphore.
- P4 : La progestérone.
- PDI : Protéines digestibles dans l'intestin.
- PDIA : Protéines d'origine alimentaire.
- PDIM : Protéines d'origine microbienne.
- PTH : Parathormone.
- Se : Sélénium.
- TB : Le taux protéique (Attention : si vous parlez du taux *protéique*, l'abréviation académique est **TP**. L'abréviation **TB** désigne le taux *butyrique*).
- TRI1 : Taux de réussite de première insémination.
- UFL : Unité Fourragère Lait.
- Zn : Zinc.

Résumé

Résumé La rentabilité des élevages laitiers intensifs en Algérie, notamment dans la région de Djelfa, repose sur une gestion rigoureuse de l'alimentation et de la reproduction. Cette étude, débutée en décembre 2025 au sein d'une exploitation de conduite intensive hors-sol, vise à évaluer l'impact des variations nutritionnelles saisonnières sur les performances de production et de reproduction d'un troupeau de vaches laitières de race Holstein (suivi dynamique variant de 640 à 470 têtes). La reproduction chez la vache Holstein est extrêmement sensible aux choix des stratégies nutritionnelles, particulièrement à l'impact du bilan énergétique négatif (BEN) et de l'acidose ruminale subclinique (ARS) induite par l'excès de concentrés en début de lactation. Ces déséquilibres du rationnement provoquent des pathologies post-partum en chaîne (métrites, mammites, boiteries) qui altèrent profondément la fertilité et entraînent un syndrome d'infécondité sévère. L'analyse comparative des rations – caractérisées par l'introduction de paille en été/automne face à une ration sans paille en hiver/printemps – met en évidence l'importance de la stabilité alimentaire. Une conduite sécurisée par des apports d'énergie synchrones et un apport suffisant en fibres structurales s'avère impérative pour maîtriser les intervalles de reproduction (IV-IA1, IVV), optimiser les taux de réussite et garantir la rentabilité technico-économique globale de l'élevage.

Mots clés : vache laitière Holstein – bilan énergétique négatif – acidose ruminale subclinique – conduite saisonnière – infécondité – Djelfa.

Abstract

The profitability of intensive dairy farms in Algeria, particularly in the Djelfa region, relies heavily on rigorous feeding and reproduction management. This study, initiated in December 2025 within an intensive zero-grazing system, aims to evaluate the impact of seasonal nutritional variations on the production and reproductive performances of a Holstein dairy herd (with a dynamic population ranging from 640 to 470 cows). Reproduction in Holstein cows is extremely sensitive to nutritional strategy choices, specifically the impact of negative energy balance (NEB) and subclinical ruminal acidosis (SRA) induced by excessive concentrate feeding in early lactation. These dietary imbalances trigger consecutive post-partum pathologies (metritis, mastitis, lameness) that deeply impair fertility and lead to a severe infertility syndrome. Comparative analysis of the diets—characterized by the incorporation of straw during summer/autumn versus a straw-free ration during winter/spring—highlights the critical importance of dietary stability. A secured feeding management based on synchronous energy supply and adequate structural fiber intake proves imperative to control reproductive intervals (calving-to-first service, calving-to-calving), optimize success rates, and ensure the overall techno-economic profitability of the farm.

Keywords: Holstein dairy cow – negative energy balance – subclinical ruminal acidosis – seasonal management – infertility – Djelfa.

ملخص

تعتمد ربحية مزارع الأبقار الحلوب المكثفة في الجزائر، لا سيما في منطقة الجلفة، بشكل كبير على الإدارة الصارمة للتغذية والتكاثر. تهدف هذه الدراسة، التي بدأت في ديسمبر 2025 داخل مستثمرة تعتمد على النظام المكثف خارج المرعى (خارج الأرض)، إلى تقييم تأثير التغيرات الغذائية الموسمية على أداء الإنتاج والتكاثر لقطيع من الأبقار الحلوب من سلالة الهولشتاين (متابعة ديناميكية يتراوح تعدادها بين 640 و470 رأساً). يعتبر التكاثر عند أبقار الهولشتاين حساساً للغاية والحمض الكرشى غير (BEN) للخيارات المتبعة في الاستراتيجيات الغذائية، وخاصة تأثير توازن الطاقة السلبى الناتج عن الإفراط في تقديم الأعلاف المركزة في بداية فترة الإدرار. تؤدي هذه الاختلالات في (ARS) السريري المقننات الغذائية إلى حدوث أمراض متسلسلة بعد الولادة (التهابات الرحم، التهابات الضروع، والعرج)، والتي تؤثر عميقاً على الخصوبة وتؤدي إلى متلازمة العقم الشديد. يظهر التحليل المقارن للوجبات الغذائية – المتميزة بإدخال التبن (القش) في فصلي الصيف والخريف مقابل وجبة خالية من التبن في فصلي الشتاء والربيع – الأهمية البالغة للاستقرار الغذائي. إن التفسير الغذائي الآمن المعتمد على إمدادات طاقة متزامنة وكمية كافية من الألياف الهيكلية يعد أمراً حتمياً للتحكم في فترات التكاثر (الفاصل الزمني بين الولادة والتلقيح الأول، والفاصل الزمني بين الولادتين)، وتحسين معدلات النجاح، وضمان الربحية التقنية والاقتصادية الشاملة للمزرعة.

بقرة حلوب هولشتاين – توازن الطاقة السلبى – الحمض الكرشى غير السريري – التفسير الموسمي :الكلمات المفتاحية
–. العقم – الجلفة

Table des matières :

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Résumé

INTRODUCTION..... **Erreur ! Signet non défini.**

I. REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES 3

I.1. Physiologie de la reproduction..... 3

I.1.1. La puberté..... 3

I.1.2. Cycle oestral 5

I.1.3. Hormones de l'axe gonadotrope 6

I.1.3.1. Les hormones de la reproduction..... 6

I.1.3.2. La régulation hormonale du cycle 11

I.2. Paramètres de reproduction..... 12

I.2.1. Paramètres de fécondité et de fertilité : 12

I.2.1.1. Les paramètres de fécondité..... 12

I.2.1.2. Les paramètres de fertilité : 15

I.3. Facteurs influençant la reproduction..... 16

I.3.1. Facteurs génétiques (facteurs liés à la vache) 16

I.3.1.1. La race 16

I.3.1.2. La lactation : 17

I.3.1.3. L'état corporel : 19

I.3.1.4. Les conditions de vêlage et troubles du péri partum :	20
I.3.2. Facteurs Sanitaires.....	23
I.3.2.1. Taille du troupeau et type de stabulation :	23
I.3.3. Facteurs Environnements Influençant la Fertilité des Bovins Laitiers :	24
I.3.3.1. Paramètres Climatiques	24
II. ALIMENTATION DES VACHES LAITIÈRES	26
II.1. Généralités sur l'alimentation des vaches laitières	26
II.1.1. Définition de l'alimentation.....	26
II.1.3. Objectifs de l'alimentation	27
II.2. Besoins nutritionnels de la vache laitière	27
II.2.1. Besoins énergétiques Sources d'énergie.....	27
II.2.2. Besoins azotés (protéiques) :	28
II.2.3. Besoins minéraux :	28
II.2.4. Besoins vitaminiques :	29
II.2.5. Besoins en eau :	30
III. RELATION ENTRE L'ALIMENTATION ET LA REPRODUCTION	31
III.1. Le Bilan Énergétique Négatif (BEN) et l'Anœstrus Post-Partum :	31
III.2. Évolution de la Note d'État Corporel (NEC) et Qualité Ovocytaire :	31
III.3. Excès d'Azote, Urémie et Environnement Utérin :	31
III.4. Rôle des Oligo-Éléments et des Vitamines (Stress Oxydatif) :	32
III.5. Recommandations et Systèmes de Rationnement Actuels :	32
III.6. Effets des troubles sanitaires d'origine nutritionnelle sur la dynamique de carrière et les indicateurs de reproduction du troupeau laitier :	32
IV. PARTIE EXPERIMENTALE.....	35
IV.1-Méthodologie.....	35
IV.1.1- Présentation de la zone d'étude.....	35
IV.1.2- Animaux, matériels et installations dans les fermes :	36
IV.2-REPARTITION DES FERMES :	36
IV.2.1-Système d'élevage et gestion d'alimentation :	36
IV.2.2- Box de vêlage :	36
IV.2.3-la nurserie :	37
IV.2.4- Air de repo :	37
IV.2.5- Endroit de stockage d'aliment :	38
IV.3-La conduite des vaches laitières	38
IV.3.1- Stabulation fermée dans les hangars	38

IV.4- ALIMENTATION ET RATIONNEMENT	39
IV.4.1-Différents types des aliments et ces compositions chimiques	39
IV.5. Collecte et description des données	44
IV.5.1. Analyse des données :	45
IV.5.1.1. Analyse du rationnement (ferme 1) :	45
IV.5.1.2. Analyse du rationnement (ferme 2) :	46
IV.6- Suivi de la reproduction :.....	47
IV.6.1-Paramètres de fécondité	47
IV.6.2-Paramètres de fertilité	47
IV.6.3-Analyse statistique des données	47
IV.6.4-Résultats et discussion :	48
IV.6.5-Analyse comparative descriptive des paramètres de reproduction entre la Ferme 1 et la Ferme 2 :	54
IV.7-Discussion Comparative Inter-Fermes	55
IV.8-Analyse Comparative des Systèmes de Rationnement et Impacts Spécifiques sur la Reproduction :	56
IV.10-Variation des paramètres de reproduction selon les maladies :	58
IV.10.1. Interprétation physiopathologique :	58
VI.10.2. L'impact de la perturbation alimentaire dans l'émergence des pathologies et leurs effets sur la reproduction :	59
DISCUSSION	62
CONCLUSION	65
Liste des références	67

Introduction

L'élevage laitier représente un secteur stratégique de l'économie agricole contemporaine et joue un rôle crucial dans l'approvisionnement des populations en protéines de haute valeur biologique. Au cours des dernières décennies, la sélection génétique intensive, associée aux progrès de l'alimentation et de la conduite d'élevage, a permis une augmentation spectaculaire des rendements laitiers par vache (**Garnsworthy et al., 2008**). Cependant, cette course à la productivité a induit des répercussions physiologiques profondes, mettant en évidence un antagonisme biologique majeur entre la production de lait et la fonction de reproduction (**Lucy, 2001 ; Opsomer et al., 2010**).

Chez la vache laitière, la reproduction constitue le pivot absolu de la rentabilité économique de l'exploitation (**Disenhaus et al., 2008**). En effet, la production de lait dépend directement du déclenchement régulier d'un nouveau cycle de lactation, initié par la mise basse. L'objectif zootechnique classique visant à obtenir « un veau par vache et par an » — soit un intervalle entre vêlages (IVV) idéal de 365 jours — demeure le standard de référence pour maximiser la persistance de la courbe de lactation et assurer le renouvellement du cheptel (**Esslemont et Kossabati, 1997**).

Pourtant, le maintien d'une efficacité reproductive optimale est devenu l'un des défis les plus complexes pour les éleveurs modernes. Le début de la lactation est systématiquement marqué par un phénomène métabolique critique : le Bilan Énergétique Négatif (BEN) (**Knight et al., 1999**). L'exportation massive d'énergie et de nutriments via le lait surpasse largement les capacités d'ingestion de la vache en début de post-partum (**Ingvartsen et Andersen, 2000**). Ce déficit d'énergie altère directement les signaux métaboliques centraux : on observe une chute de l'insuline, du glucose et de l'IGF-1 au profit d'une augmentation des Acides Gras Non Estérifiés (AGNE) et du béta-hydroxybutyrate (BHB) (**Leroy et al., 2008b**). Ces modifications biochimiques freinent l'activité pulsatile de la GnRH et de la LH au niveau de l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique (AHHG), retardant ainsi l'ovulation et prolongeant l'anœstrus post-partum (**Disenhaus et al., 2006 ; Ponter, 2009**).

À cette contrainte métabolique s'ajoutent des risques de troubles digestifs systémiques. L'incorporation massive de concentrés pour soutenir la lactation, souvent au détriment des fibres structurelles, expose l'animal à l'acidose ruminale subclinique (ARS) (**Krause et Oetzel, 2006**). Ce déséquilibre du microbiote ruminal induit des pathologies post-partum en chaîne telles que les métrites, les mammites et les boiteries, qui altèrent profondément la fertilité (**Mulligan et Dohe** **L'élevage laitier représente un secteur stratégique de l'économie agricole contemporaine et joue un rôle crucial dans l'approvisionnement des populations en protéines de haute valeur biologique. Au cours des dernières décennies, la sélection génétique intensive, associée aux progrès de l'alimentation et de la conduite d'élevage, a permis une augmentation spectaculaire des rendements laitiers par vache (Garnsworthy et al., 2008). Cependant, cette course à la productivité a induit des répercussions physiologiques profondes, mettant en évidence un antagonisme biologique majeur entre la production de lait et la fonction de reproduction (Lucy, 2001 ; Opsomer et al., 2010).**

Chez la vache laitière, la reproduction constitue le pivot absolu de la rentabilité économique de l'exploitation (**Disenhaus et al., 2008**). En effet, la production de lait dépend directement du déclenchement régulier d'un nouveau cycle de lactation, initié par la mise basse. L'objectif zootechnique classique visant à obtenir « un veau par vache

et par an » — soit un intervalle entre vêlages (IVV) idéal de 365 jours — demeure le standard de référence pour maximiser la persistance de la courbe de lactation et assurer le renouvellement du cheptel (Esslemont et Kossaibati, 1997).

Pourtant, le maintien d'une efficacité reproductive optimale est devenu l'un des défis les plus complexes pour les éleveurs modernes. Le début de la lactation est systématiquement marqué par un phénomène métabolique critique : le Bilan Énergétique Négatif (BEN) (Knight et al., 1999). L'exportation massive d'énergie et de nutriments via le lait surpasse largement les capacités d'ingestion de la vache en début de post-partum (Ingvarsen et Andersen, 2000). Ce déficit d'énergie altère directement les signaux métaboliques centraux : on observe une chute de l'insuline, du glucose et de l'IGF-1 au profit d'une augmentation des Acides Gras Non Estérifiés (AGNE) et du béta-hydroxybutyrate (BHB) (Leroy et al., 2008b). Ces modifications biochimiques freinent l'activité pulsatile de la GnRH et de la LH au niveau de l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique (AHHG), retardant ainsi l'ovulation et prolongeant l'anœstrus post-partum (Disenhaus et al., 2006 ; Ponter, 2009).

À cette contrainte métabolique s'ajoutent des risques de troubles digestifs systémiques. L'incorporation massive de concentrés pour soutenir la lactation, souvent au détriment des fibres structurales, expose l'animal à l'acidose ruminale subclinique (ARS) (Krause et Oetzel, 2006). Ce déséquilibre du microbiote ruminal induit des pathologies post-partum en chaîne telles que les métrites, les mammites et les boiteries, qui altèrent profondément la fertilité (Mulligan et Doherty, 2008). Dès lors, l'expression des signes de chaleurs diminue (ovulations silencieuses) et la fertilité globale chute, illustrée par la baisse des taux de réussite en première insémination artificielle (TRI1) (Grimard et al., 2006). Le suivi rigoureux des indicateurs de fécondité, tels que l'intervalle vêlage-insémination fécondante (IV-IAF), devient un outil de pilotage indispensable pour identifier ces dérives (Hanzen et al., 2009).

C'est dans ce cadre d'analyse technico-économique, nutritionnel et physiologique que s'inscrit notre travail de mémoire, intitulé : « The effect of seasonal nutrition on milk production in dairy cows » (ou sa traduction officielle : Effet de l'alimentation saisonnière sur la production de lait chez les vaches laitières).

Pour répondre à cette problématique, notre document s'articule autour de deux parties principales :

La première partie consistera en une synthèse bibliographique détaillée, exposant les mécanismes endocriniens du cycle œstral de la vache, les interactions complexes entre le

métabolisme laitier, le statut nutritionnel (notamment l'ARS et le BEN) et l'axe gonadotrope, ainsi que les critères zootechniques de mesure des performances.

La seconde partie fera l'objet d'une étude pratique de terrain. Menée à partir de décembre 2025 au sein d'une exploitation intensive hors-sol dans la région de Djelfa sur un troupeau dynamique de 640 à 470 vaches de race Holstein, elle analysera l'impact réel des variations des rations saisonnières (avec ou sans paille) sur les performances zootechniques afin de proposer des pistes d'amélioration concrètes. (rty, 2008). Dès lors, l'expression des signes de chaleurs diminue (ovulations silencieuses) et la fertilité globale chute, illustrée par la baisse des taux de réussite en première insémination artificielle (TRI1) (Grimard et al., 2006). Le suivi rigoureux des indicateurs de fécondité, tels que l'intervalle vêlage-insémination fécondante (IV-IAF), devient un outil de pilotage indispensable pour identifier ces dérives (Hanzen et al., 2009).

C'est dans ce cadre d'analyse technico-économique, nutritionnel et physiologique que s'inscrit notre travail de mémoire, intitulé : « **The effect of seasonal nutrition on milk production in dairy cows** » (ou sa traduction officielle : *Effet de l'alimentation saisonnière sur la production de lait chez les vaches laitières*).

Pour répondre à cette problématique, notre document s'articule autour de deux parties principales :

- **La première partie** consistera en une synthèse bibliographique détaillée, exposant les mécanismes endocriniens du cycle œstral de la vache, les interactions complexes entre le métabolisme laitier, le statut nutritionnel (notamment l'ARS et le BEN) et l'axe gonadotrope, ainsi que les critères zootechniques de mesure des performances.
- **La seconde partie** fera l'objet d'une étude pratique de terrain. Menée à partir de décembre 2025 au sein d'une exploitation intensive hors-sol dans la région de **Djelfa** sur un troupeau dynamique de **640 à 470 vaches de race Holstein**, elle analysera l'impact réel des variations des rations saisonnières (avec ou sans paille) sur les performances zootechniques afin de proposer des pistes d'amélioration concrètes.

CHAPITRE I :
REPRODUCTION DES
VACHES LAITIÈRES

I. REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

I.1. Physiologie de la reproduction

I.1.1. La puberté

La puberté marque le début de la fonction reproductrice chez la femelle bovine. Elle correspond à l'activation du système hormonal permettant l'ovulation et la possibilité de gestation.

Chez la race Baoulé ; La puberté apparaît à 14 mois pour la femelle et à 18 mois pour le mâle. Le poids se situe entre 120 et 155 kg, ce qui représente environ 2/3 du poids adulte (**CHICOTEAU et al ; 1990**).

- **Facteur déterminant :**

Le poids corporel est plus important que l'âge pour déterminer l'arrivée de la puberté chez la femelle bovine (**HANZEN, 1994**).

- **Différences selon le type de vache :**

Les vaches laitières atteignent leur puberté plus tôt (9–12 mois) lorsqu'elles ont atteint 40–45% de leur poids adulte. En revanche, les vaches allaitantes sont plus tardives, avec une puberté entre 14 et 17 mois, lorsqu'elles ont atteint 50–55% de leur poids adulte (**RINGUET, 2019**).

	Salers	Charolaise	Limousine
Age de la puberté (mois)	12-15	13-16	15-17
Poids à la puberté (kg)	350-380	390-420	380-390

Tableau N°01 : synthèse des âges et poids à atteindre à la puberté en fonction des races d'après Le colzer (2009) cité par RINGUET (2019).

La puberté chez les petits ruminants correspond à l'acquisition de la fonction reproductrice, généralement observée entre 4 et 6 mois d'âge, avec une apparition plus précoce chez la chèvre que chez la brebis. Son déclenchement dépend de plusieurs facteurs, notamment la génétique, la vitesse de croissance, l'alimentation, la race, la photopériode et l'état sanitaire de l'animal (Review: Early and late determinants of puberty in ruminants and the role of nutrition, 2023; Puberty and Estrus in Goats, 2024).

Chez la chèvre, la première ovulation survient habituellement autour de 6 à 8 mois, bien que cet âge puisse varier selon la race et les conditions d'élevage (Puberty and Estrus in Goats, 2024). De manière générale, chez les espèces domestiques, la puberté est influencée par la saison de naissance et par les conditions environnementales, ce qui explique les variations observées entre

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

bovins, ovins et caprins (**Review: Early and later determinants of puberty in ruminants and the role of nutrition, 2023**).

L'alimentation joue un rôle central dans l'apparition de la puberté. Un apport énergétique insuffisant ralentit la croissance, retarde l'atteinte du poids critique nécessaire à la maturation sexuelle et peut même provoquer un anœstrus nutritionnel en cas de sous-alimentation prolongée (**Review: Early and later determinants of puberty in ruminants and the role of nutrition, 2023; Nutrition, Growth, and Age at Puberty in Heifers, 2024**). À l'inverse, une alimentation plus riche et mieux équilibrée favorise une croissance plus rapide et peut avancer l'âge à la puberté, à condition que cette croissance ne devienne pas excessive (**Nutrition, Growth, and Age at Puberty in Heifers, 2024**).

Les travaux récents montrent que le poids corporel et l'état énergétique sont souvent plus déterminants que l'âge chronologique dans le déclenchement de la puberté, car ils conditionnent l'activation de l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique (**Review: Early and later determinants of puberty in ruminants and the role of nutrition, 2023; Nutrition, Growth, and Age at Puberty in Heifers, 2024**). Chez les jeunes femelles, une croissance trop rapide peut toutefois avoir des effets défavorables sur le développement du tissu mammaire et compromettre les performances reproductives et la future production laitière (**Nutrition, Growth, and Age at Puberty in Heifers, 2024**).

En conséquence, la gestion nutritionnelle des jeunes ruminants doit viser un compromis entre une croissance suffisante, l'atteinte du poids seuil de puberté et la préservation du développement mammaire. Une ration équilibrée, adaptée aux besoins physiologiques de l'animal, constitue donc un facteur essentiel pour optimiser la précocité pubertaire sans compromettre les performances ultérieures (**Review: Early and later determinants of puberty in ruminants and the role of nutrition, 2023 ; Puberty and Estrus in Goats, 2024**).

Age de puberté	Femelle
Bovine	9-15 mois
Ovine	Naissance hiver : 6-8 mois Naissance automne : 15-17 mois
Caprine	08 saisonnière comme la brebis

Tableau N°02: l'âge de la puberté chez les différentes espèces d'animaux domestiques(Anonyme ;2013).

I.1.2. Cycle oestral

Le cycle œstral bovin est caractérisé comme polyœstrien et continu, avec une durée moyenne de 20 à 21 jours, généralement plus courte chez la génisse que chez les multipares (**Derivaux, 1971 ; Lucy, 2011**). Il se décompose classiquement en quatre phases successives : proœstrus, œstrus, métœstrus et diœstrus.

Pendant le proœstrus, un ou plusieurs follicules ovariens entrent en maturation sous l'effet synergique des gonadotrophines hypophysaires folliculo-stimulante (FSH) et lutéinisante (LH); l'action de la LH devient progressivement prédominante, entraînant une production accrue d'œstrogènes par les cellules de la granulosa, préparant ainsi l'appareil génital et le comportement sexuel à l'œstrus(**Kolb, 1975; Hafez & Hafez, 2017**). La durée du proœstrus est habituellement de 2 à 3 jours chez les ruminants; chez la vache, cette phase débute aux environs du 17^e jour du cycle et s'accroît au 19^e jour (**Derivaux&Ectors, 1980; Sheldon et al., 2020**).

L'œstrus est de courte durée (moyenne 14–15 h) et correspond à la maturité finale et à la rupture du follicule dominant avec libération ovocytaire ; l'ovulation, spontanée chez la vache, survient approximativement 14 heures après la fin de l'œstrus(**INRAP, 1988; Wiltbank et al., 2011**). Les signes cliniques de l'œstrus incluent tuméfaction et congestion du vagin et de la vulve, ouverture du col utérin et émission de sécrétions fluides (**Kolb et al., 1975; Fetrow & Noakes, 2018**).

Le métœstrus correspond à l'installation du corps jaune et s'étend du jour 1 au jour 6 du cycle (**INRAP, 1988**). Le devenir du corps jaune dépend du sort de l'ovule : si l'ovule est fécondé, le corps jaune reste fonctionnel et inhibe le développement d'un nouveau follicule ; en l'absence de fécondation, il régresse (**Kolb, 1975**).

Le diœstrus désigne la période d'activité lutéale caractérisée par la synthèse de progestérone (**Soltner, 1999**). Sa durée, déterminée par l'activité du corps jaune, est d'environ 10 à 11 jours (du 6^e au 17^e jour du cycle). Pendant cette phase, les sécrétions vaginales sont épaisses et visqueuses, le col utérin est fermé et la femelle refuse le mâle (**Derivaux&Ectors, 1980 ; INRAP, 1988**).

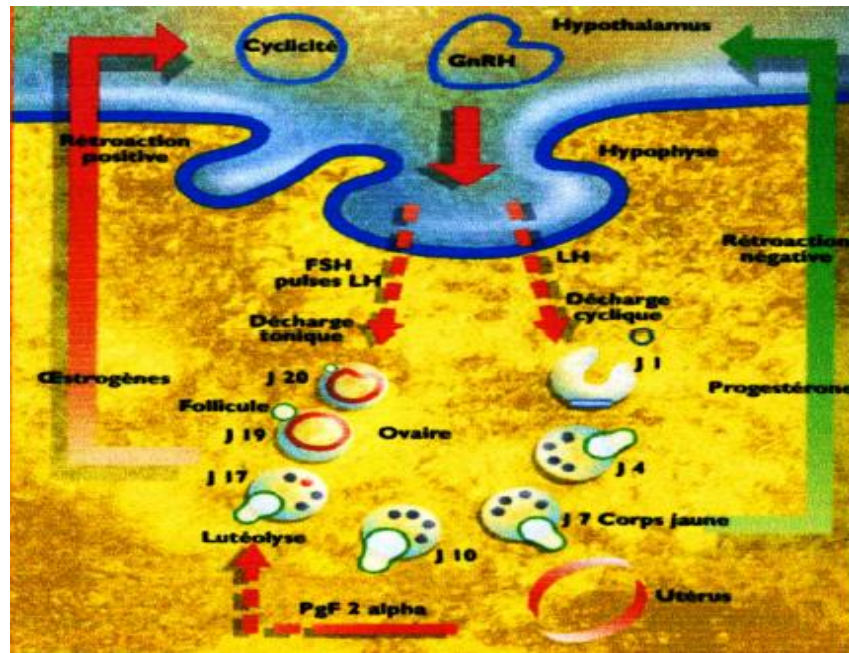


Figure 1 : Représentation du cycle sexuel chez la vache (F. DELETANG in PRID)

I.1.3. Hormones de l'axe gonadotrope

I.1.3.1. Les hormones de la reproduction

a. GnRH (Gonadotropin-Releasing Hormone)

La GnRH est un peptide neurohormonal de 5560 Da (10 acides aminés) synthétisé par les neurones du noyau préoptique et de l'hypothalamus médial. Elle est libérée dans la circulation hypophysaire primaire au niveau de la décusure tubérale de l'hypophyse. Mécanisme d'action : La GnRH se fixe sur les récepteurs couplés aux protéines G (Gq/11) situés sur la membrane des cellules gonadotropes de l'antéhypophyse. Cette interaction déclenche la voie de signalisation IP_3/Ca^{2+} , conduisant à : L'expression des gènes des gonadotrophines La synthèse et la libération de FSH (Follicle-Stimulating Hormone) et LH (Luteinizing Hormone) (ROCHE, 1997).

b. FSH (Follicle-Stimulating Hormone)

La FSH est une glycoprotéine hétérodimère ($\alpha = 89$ aa, $\beta = 118$ aa) synthétisée et stockée dans les cellules gonadotropes antéhypophysaires. Sa demi-vie plasmatique est d'environ 3–4 minutes.

• Fonctions physiologiques :

- **Croissance folliculaire** : Stimule la prolifération des cellules de la granulosa via l'activation des récepteurs FSH-R (couplés à $G_s \rightarrow$ voie AMPc/PKA) Maturation folliculaire : Potentialise l'action de la LH par fragilisation de la membrane folliculaire (augmentation de l'activité des métalloprotéinases) (RIEUTORT, 1995)
- **Stéroïdogénèse** : Induit l'expression de l'aromatase (CYP19A1), catalysant la conversion des androgènes en œstrogènes

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

- **Taux plasmatique basal chez la vache** : 112,4 ng/ml (**HANZEN, 2000**), avec un pic pré ovulatoire coordonné avec celui de la LH.

c. LH (Luteinizing Hormone)

La LH est une glycoprotéine hétérodimère ($\alpha = 89$ aa, $\beta = 121$ aa) sécrétée par l'antéhypophyse. Sa demi-vie plasmatique est plus courte (~20–30 min) que celle de la FSH.

• Fonctions physiologiques :

Maturation folliculaire finale : Action synergique avec la FSH sur les cellules de la granulosa et des thèques

- **Ovulation** : Induit l'activation de la cascade des MAP kinases → rupture du follicule par oostol et contraction des cellules musculaires similaires

- **Lutéinisation** : Transformer les cellules de la granulosa en cellules du corps jaune (granulosa-luteincells)

- **Stéroidogénèse du corps jaune** : Stimule l'expression de la CYP11A1 (20 α -hydroxylase) pour la synthèse de progestérone

- **Taux plasmatique chez la vache** : 0,2–2 ng/ml (**DERIVEAUX et ECTORS, 1980**), avec un pic pré-ovulatoire d'environ 15–25 ng/ml.

- Axe de régulation intégré

La rétroaction négative des œstrogènes et de la progestérone sur l'hypothalamus et l'hypophyse régule le rythme de sécrétion pulsatile de la GnRH, essentiel au maintien du cycle œstral.

d. Les œstrogènes

Notamment l'œstradiol, l'œstrone et l'œstriol constituent des stéroïdes endocriniens fondamentaux régulant le développement des caractères sexuels secondaires de type féminin, la maturation morphologique et fonctionnelle de l'appareil génital, ainsi que la différenciation et l'activité des glandes mammaires. Ils sont également impliqués dans l'expression des manifestations œstrales caractéristiques du cycle reproducteur (**Deriveaux, 1971**).

Ces hormones sont synthétisées et libérées principalement par les cellules de la thèque interne des follicules ovariens ainsi que par les cellules interstitielles de l'ovaire (**Deriveaux, 1971**).

Au sein de cette famille d'hormones stéroïdiennes, le 17 β -œstradiol se distingue comme l'œstrogène ovarien essentiel, présentant la plus forte activité biologique et la plus grande affinité pour les récepteurs œstrogéniques tissulaires (**Vaissair, 1977**).

La régulation de l'axe hypothalamo-hypophysaire par les œstrogènes est soumise à un mécanisme de rétroaction dépendant de la concentration hormonale circulante. À concentrations élevées, les œstrogènes exercent une rétroaction positive, stimulant la sécrétion hypophysaire des gonadotrophines FSH (hormone folliculo-stimulante) et LH (hormone lutéinisante). En revanche,

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

à concentrations faibles, ils induisent une rétroaction négative, limitant ainsi la libération de ces mêmes gonadotrophines **(INRAP, 1988)**.

Ce double mécanisme de régulation assure la cohérence temporelle et quantitative des événements cycliques ovarien et endocrinien, garantissant l'homéostasie du système reproducteur féminin **(INRAP, 1988 ; Vaissair, 1977)**.

e. La progestérone

La progestérone (P4) est une hormone stéroïdienne de la famille des progestatifs, dérivée du cholestérol par la voie de la 3 β -hydroxystéroïde déshydrogénase. Le corps jaune (corpus luteum), issu de la transformation du follicule ovarien post-ovulatoire, constitue la source physiologique prépondérante de cette hormone durant la phase lutéale du cycle menstruel et les premières semaines de la gestation.

La progestérone joue un rôle indispensable à l'établissement et au maintien de la gravidité. Elle favorise la différenciation de l'endomètre sécrétoire, conditionne la nidation de l'embryon et maintient l'intégrité de la grossesse par plusieurs mécanismes moléculaires.

La progestérone est également synthétisée par la corticosurrénale et, chez certaines espèces, par le placenta (qui devient la source dominante après la 10^e semaine de gestation chez l'humaine). Son action immunosuppressive module la réponse maternelle envers le fœtus, essentiel pour prévenir l'avortement spontané.

f. La prostaglandine PGF2 α

La famille des prostaglandines regroupe des médiateurs lipidiques issus de l'acide arachidonique. Parmi elles, la prostaglandine F2 α (PGF2 α) joue un rôle majeur dans la régulation de la reproduction chez les bovins. Synthétisée principalement par les cellules endométriales utérines, la PGF2 α est l'agent effecteur de la régression du corps jaune (luteolyse), processus fondamental pour la reprise du cycle œstral **(Deriveaux&Ectors, 1980)**. Par ailleurs, la PGF2 α induit et entretient les contractions du myomètre au cours du travail, contribuant ainsi à l'expulsion du fœtus lors du parturition **(INRAP, 1988)**.

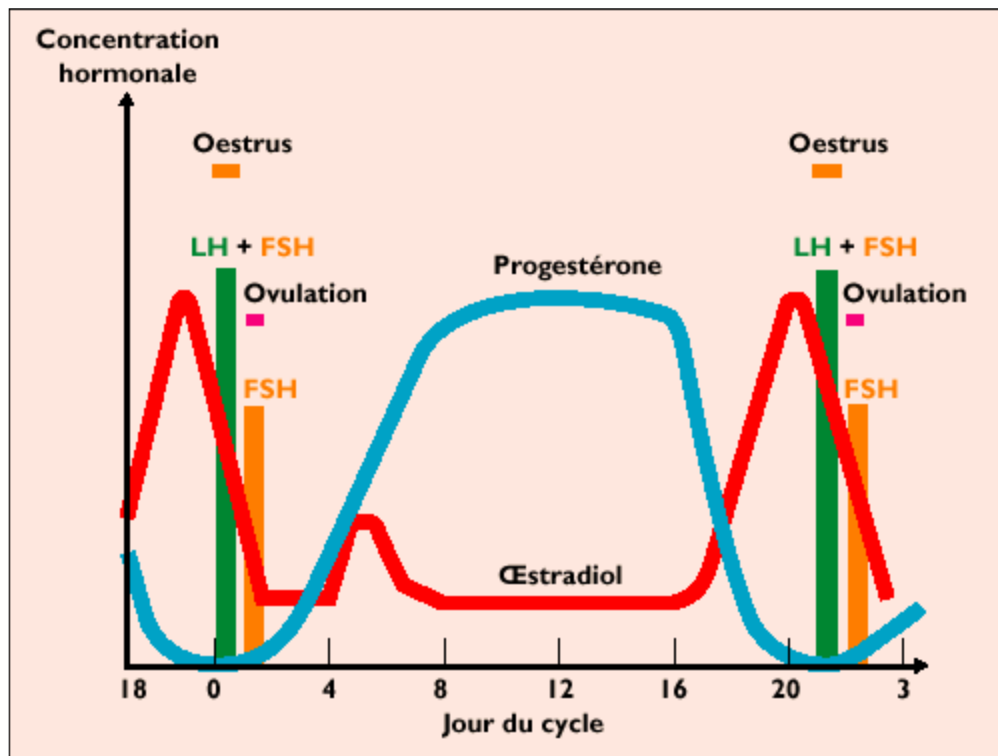


Figure 2 : Modification de la concentration hormonale dans le plasma sanguin durant le cycle bovin (PRID).

j. L'ocytocine

L'ocytocine est un octapeptideneurohypophysaire synthétisé par les neurones hypothalamiques et libéré par la neurohypophyse (**Vaissair, 1977**). Elle module la contractilité des muscles lisses et exerce des effets physiologiques clés en péripartum : elle stimule les contractions myométriales au moment du travail et active les cellules myoépithéliales de la glande mammaire pour favoriser l'éjection du lait lors de la lactation (**INRAP, 1988**).

h. Hormone de croissance (GH)

La GH, sécrétée par l'antéhypophyse, participe à la régulation de la fonction reproductive féminine. Elle potentialise l'action des gonadotrophines et intervient dans la croissance folliculaire, la prolifération cellulaire, la lutéinisation des cellules du corps jaune ainsi que la stéroïdogénèse. Elle joue également un rôle dans la maturation ovocytaire. Par ailleurs, la GH stimule la sécrétion hépatique d'IGF-I, lequel intervient dans la médiation de ses effets biologiques (**Colle et al., 1986**).

Cette formulation est cohérente avec les descriptions rapportant que la GH exerce des effets gonadiques chez la femelle, notamment sur la croissance folliculaire, la maturation ovocytaire et la stéroïdogénèse.

i. l'insuline

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

Rôle de l'insuline dans la régulation de la fonction ovarienne chez la vache laitière(09/06/2026 02:11, karimziani: Rôle de l'insuline dans la régulation de la fonction ovarienne chez la vache laitière)

- **Métabolisme énergétique ovarien et insuline**

Le glucose constitue la principale source métabolique d'énergie utilisée par l'ovaire bovin. Les concentrations circulantes de glucose et d'insuline s'avèrent être des prédicteurs physiologiques robustes de la reprise de l'activité ovulatoire post-partum chez la vache laitière.

- **Effets biologiques de l'insuline sur l'ovaire**

- **L'insuline exerce des actions anaboliques multiples sur le tissu ovarien :**

Stimulation de la croissance folliculaire : L'insuline favorise la prolifération des cellules de la granulosa et la maturation des follicules ovariens via l'activation des voies de signalisation intracellulaires (**voie PI3K/Akt et voie MAPK/ERK**).

- **Modulation de la stéroïdogénèse** : L'insuline stimule la production d'hormones stéroïdiennes (œstradiol, progestérone) par les cellules della granulosa et les cellules de la thèque, en augmentant l'expression des enzymes clés de la stéroïdogénèse..

- **Effet potentialisateur sur les gonadotrophines** : In vitro, l'insuline potentialise l'action de l'hormone lutéinisante (LH) et de l'hormone folliculo-stimulante (FSH) sur les cellules ovariennes, agissant comme un cofacteur essentiel à leur efficacité biologique.
(09/06/2026 02:11] karimziani)

- **Mécanisme moléculaire et interaction avec l'axe IGF-1** : L'insuline exerce ses effets biologiques en se liant à son récepteur tyrosine kinase spécifique (IR), mais également en modulant la disponibilité de l'IGF-1 (Insulin-like Growth Factor 1) par :

- L'inhibition de la synthèse de l'IGFBP-1 (IGF-Binding Protein 1) dans les cellules de la granulosa

- L'augmentation de la biodisponibilité de l'IGF-1 libre, qui agit alors sur le récepteur IGF-1R
Importance physiologique en reproduction bovine

- Le statut insulinique reflète le bilan énergétique de l'animal et constitue un signal métabolique integrateur transmettant l'information énergétique au système reproducteur hypothalamo-hypophyso-ovarien. Chez la vache laitière moderne soumise à une production laitière élevée, la négativité du bilan énergétique post-partum entraîne une diminution des concentrations d'insuline et d'IGF-1, contribuant ainsi à la prolongation de l'anœstrus post-partum et à la réduction de la fertilité.

Cette relation métabolique explique pourquoi l'insuline et le glucose sont utilisés comme biomarqueurs prédictifs de la reprise cyclicity et comme cibles nutritionnelles pour améliorer la fertilité en élevage laitier.

g. La leptine :

Rôle physiologique et implications dans la fonction reproductive bovine
La leptine est une hormone peptidique principalement synthétisée et sécrétée par le tissu adipeux blanc, agissant comme un signal métabolique de régulation à long terme de l'équilibre énergétique. Chez la vache, des récepteurs à la leptine ont été identifiés au niveau de l'ovaire et du tissu adipeux, suggérant une action paracrine et/ou autocrine locale en plus de ses effets endocrines centraux.

Relation photopériodisme-sécrétion de leptine et régulation reproductive. La sécrétion de leptine présente une variabilité saisonnière liée au photopériodisme, ce qui implique que cette hormone pourrait constituer un mécanisme de couplage entre les signaux environnementaux et la fonction reproductrice à long terme.

Cette relation temporelle suggère un rôle intégrateur de la leptine dans la modulation de l'axe hypothalamo-hypophyso-gonadique (AHHG) en fonction des conditions environnementales et métaboliques.

- **Modulation des récepteurs à la leptine par les œstrogènes**

La synthèse et l'expression des récepteurs à la leptine (LEPR) semblent être régulées par les concentrations plasmatiques d'œstrogènes, comme l'ont démontré (**Grimard et al ,2000**).

Cette rétroaction hormonale crée un mécanisme de régulation bidirectionnelle : la leptine influence la fonction reproductive tandis que les stéroïdes sexuels modulent la sensibilité tissulaire à la leptine via la régulation de l'expression des récepteurs

I.1.3.2. La régulation hormonale du cycle

La régulation du cycle ovarien résulte de l'interaction des hormones hypothalamiques, hypophysaires et ovariennes (figure 3).

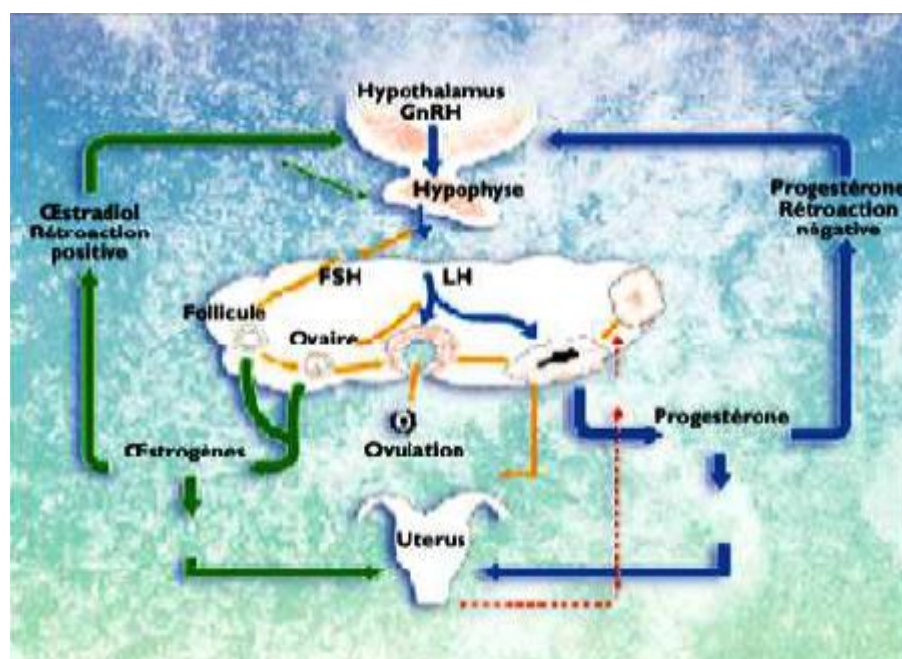


Figure 3 : Récapitulatif du contrôle hormonal du cycle ovarien (PETERS et BALL, 1994).

L'hypothalamus, « chef d'orchestre », sécrète la GnRH qui, via le système porte hypothalamo-hypophysaire, atteint les cellules gonadotropes de l'antéhypophyse et stimule la synthèse et la libération de FSH et de LH. La FSH assure la croissance folliculaire : parmi les follicules recrutés, un se développe plus rapidement et produit davantage d'oestradiol — c'est le follicule de De Graaf, futur follicule mûr destiné à ovuler. L'augmentation des œstrogènes dans le sang provoque l'apparition de l'œstrus et exerce un rétrocontrôle positif sur l'axe hypothalamo-hypophysaire, entraînant une décharge rapide et massive de LH, laquelle déclenche l'ovulation.

Au moment de l'ovulation, les cellules de la granulosa sécrètent de l'inhibine, qui exerce un rétrocontrôle négatif en diminuant la libération de FSH. Sous l'effet de la LH, les restes du follicule ovulé se transforment en corps jaune. Le corps jaune sécrète de la progestérone, qui prépare l'utérus à la nidation en provoquant l'hyperplasie de l'endomètre. En l'absence de conception, l'endomètre libère de la PGF2 α , qui provoque la régression du corps jaune; la chute du taux de progestérone circulante lève alors l'inhibition sur l'hypothalamus. C'est donc la régression du corps jaune qui permet l'installation d'un nouveau cycle.

I.2. Paramètres de reproduction

I.2.1. Paramètres de fécondité et de fertilité :

I.2.1.1. Les paramètres de fécondité.

a. Intervalle entre vêlages :

L'intervalle entre vêlages (IVV), défini comme la durée en jours séparant deux mises bas successives d'une même femelle bovine, constitue le critère technico-économique prépondérant en production laitière pour l'évaluation de la fécondité troupeau (**Gilbert-Bonne, 1995**). Cet indicateur fournit une mesure de la fertilité collective du troupeau, reflétant le nombre de jours écoulés entre deux événements de parturition consécutifs. Il convient toutefois de souligner que l'appréciation de ce paramètre est nécessairement tardive, ce qui impose sa considération conjointe avec d'autres indicateurs de reproduction pour une évaluation complète de la performance reproductive.

Selon **Loisel (1976)**, une corrélation étroite existe entre l'intervalle vêlage-vêlage et l'intervalle vêlage-insémination fécondante. Par conséquent, toute variation de l'intervalle entre vêlages est principalement attribuable aux fluctuations de l'intervalle vêlage-insémination fécondante.

L'intervalle entre vêlages caractérise la fécondité intrinsèque d'un troupeau, laquelle est déterminée par trois critères fondamentaux interdépendants :

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

- Les délais de mise à la reproduction : période latente entre le vêlage et la première insémination postpartum
- Le temps perdu dû aux échecs d'insémination : durée supplémentaire résultant des inséminations non fécondantes avant la gestation établie
- La durée de gestation : période physiologique fixe d'environ 280-285 jours chez la femme bovine
- L'objectif zootechnique optimal vise un intervalle entre vêlages de 365 jours, correspondant à un veau par vache et par an, maximisant ainsi la productivité reproductive et la rentabilité économique de l'exploitation laitière (Figure 4).

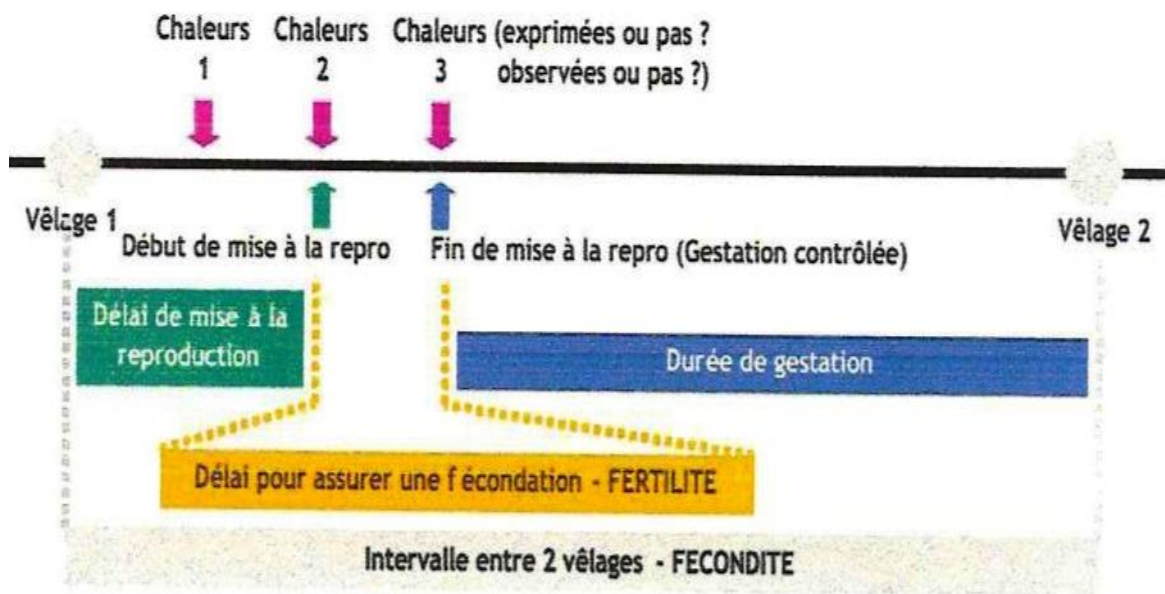


Figure 4: Intervalle entre deux vêlages, dont l'objectif est d'avoir un veau par vache et par an.

b. Intervalle entre vêlages premières chaleurs :

L'intervalle séparant le vêlage de l'apparition des premières chaleurs constitue un paramètre fondamental pour apprécier la reprise de l'activité ovarienne et l'efficacité de la détection des chaleurs au sein du troupeau. Sa durée est influencée par plusieurs facteurs, notamment la qualité de l'observation des signes œstraux, les conditions de logement, l'équilibre alimentaire, l'hygiène péripartum, la présence éventuelle d'affections post-partum ainsi que le niveau de production des animaux. Dans des conditions favorables, les premières chaleurs apparaissent généralement entre 30 et 35 jours après la mise bas, bien que certaines études aient rapporté une moyenne proche de 59 jours, particulièrement lorsque des pathologies post-partum sont observées.

L'anoestrus post-partum représente également un indicateur important du fonctionnement reproductif. Selon Denis (1979), cette période ne devrait pas excéder 60 jours après le vêlage. Sa

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

durée varie selon le mode d'élevage et tend à être plus longue chez les femelles allaitantes que chez les femelles traites.

c. Intervalle vêlage- 1ère insémination :

L'intervalle entre le vêlage et la première insémination représente un paramètre clé de l'efficacité reproductive chez la vache laitière. Il traduit la rapidité avec laquelle l'animal reprend son activité sexuelle après la parturition et constitue un indicateur de la qualité de la gestion du post-partum. Cet intervalle est influencé par plusieurs facteurs, notamment la durée de l'anoestrus post-partum, la restauration de l'intégrité utérine, la détection des chaleurs ainsi que la stratégie de reproduction adoptée dans l'élevage.

D'un point de vue physiologique, une reprise prématurée de la reproduction peut compromettre les chances de fécondation si l'involution utérine n'est pas achevée. À l'inverse, un retard excessif de la première insémination prolonge l'intervalle vêlage-vêlage et réduit la performance globale du troupeau. Pour cette raison, la première insémination est généralement recommandée après une période minimale de récupération post-partum, tout en visant un délai compatible avec une gestion reproductive efficiente. Chez les vaches à forte production ou en première lactation, une certaine flexibilité peut être admise en raison de la priorité donnée au rétablissement physiologique et à l'équilibre énergétique.

d. Intervalle vêlage-insémination fécondante

L'intervalle vêlage-insémination fécondante est déterminé par le délai entre le part et la première insémination ainsi que par le nombre d'inséminations requises pour instaurer une gestation. Un allongement de cet intervalle est fréquemment associé à une détection insuffisante des chaleurs et à des inséminations réalisées de manière tardive (**Santos et al., 2010; Pinedo et al., 2015**). Pour optimiser la reproduction, il est recommandé que la totalité des vaches d'un troupeau soit confirmée gestante au plus tard entre le 85e et le 90e jour post-partum; des exceptions s'appliquent aux primipares et aux vaches à haut potentiel de production, pour lesquelles un délai additionnel d'environ un mois peut être toléré en raison de contraintes métaboliques et nutritionnelles (**Seegers & Malher, 1996; Roche et al., 2013**).

Du point de vue des indicateurs de performance reproductrice, la proportion de vaches fécondées après 110 jours post-partum devrait rester inférieure à 25%, et l'intervalle moyen vêlage-insémination fécondante du troupeau devrait être maintenu en deçà de 100 jours afin de préserver la rentabilité et la productivité laitière (**Butler et Smith, 2012; Walsh et al., 2018**). Les stratégies d'amélioration comprennent le renforcement de la surveillance des signes d'œstrus (capteurs d'activité, scoring comportemental), l'optimisation de l'état corporel et du plan alimentaire en période post-partum, ainsi que l'utilisation de protocoles d'œstrus synchronisé ou d'IA assistée lorsque nécessaire (**Giordano et al., 2012; Stevenson et al., 2020**).

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

e. Intervalle entre la Première Insémination Artificielle et l'Insémination Fécondante (IA1-IF)

L'intervalle temporel entre la première insémination artificielle (IA1) et l'insémination fécondante (IF), noté IA1-IF, constitue un indicateur phénotypique essentiel de la fertilité féminine chez les femelles bovines. Cet paramètre repose sur deux déterminants majeurs : le taux de réussite de chaque insémination et le nombre de cycles œstriens nécessaires pour obtenir une conception viable (Cauty & Perreau, 2003).

- **Dynamique du retour en œstrus chez les vaches non fécondées :** Les vaches n'ayant pas conçu lors de la première insémination artificielle réintègrent le cycle œstral de manière périodique. La majorité de ces individus présente un retour en œstrus régulier, caractérisé par une période inter-œstrale comprise entre 18 et 24 jours, correspondant au cycle œstral moyen de 21 jours chez la femelle bovine (Rodriguez et al, 2021).

I.2.1.2. Les paramètre de fertilité :

I.2.1.2.1. Taux de réussite en première insémination (TRI1):

Le taux de réussite en première insémination (TRI1) constitue un indicateur robuste de la fertilité d'un cheptel bovin. Il est défini comme le rapport entre le nombre de vaches considérées gravides à un moment donné et le nombre de vaches inséminées pour la première fois : Ce critère reflète la fertilité globale du troupeau et intègre simultanément les effets de la qualité de la semence, de la détection des chaleurs, des techniques d'insémination et des conditions sanitaires.

a. Valeurs de référence et objectifs de gestion

La littérature scientifique admet couramment un TRI1 moyen d'environ 60% pour les vaches en conditions d'insémination artificielle standard. Toutefois, les objectifs de gestion reproductive recommandent un TRI1 égal ou supérieur à 70%, conformément aux standards établis par Metge (1990). Un TRI1 inférieur à 60% indique un niveau de fertilité jugé mauvais et nécessite une révision des pratiques de reproduction.

Selon Seegers H. et Malher X. (1996), le TRI1 moyen observé pour les vaches est de 60% en conditions d'insémination artificielle. Cette valeur correspond aux taux rapportés dans la plupart des études sur les troupeaux laitiers en production intensive.

b. Saillie naturelle versus insémination artificielle

Wattiaux M.A. (1996) rapporte que, lors de la saillie naturelle avec un taureau performant, le taux de réussite de l'insémination est généralement proche de 100%.

En revanche, en insémination artificielle, le pourcentage de réussite est nettement inférieur et dépend de multiples facteurs techniques et biologiques : La variation du TRI1 entre saillie naturelle et insémination artificielle illustre l'importance des pratiques techniques en reproduction bovine.

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

L'insémination artificielle, bien que moins efficace en termes de TRI1, offre des avantages en contrôle génétique et prévention des maladies transmissibles.

Donc le TRI1 est un paramètre de fertilité essentiel pour le monitoring reproductif des cheptels bovins. Un TRI1 $\geq 70\%$ représente l'objectif optimal, tandis que un TRI1 $< 60\%$ indique une fertilité insuffisante nécessitant des interventions correctives sur la qualité de la semence, la détection des chaleurs, ou la technique d'insémination.

Troupeaux laitiers	Objectifs	Seuil d'intervention
Fécondité : intervalle vêlage-fécondation = VIAF % d'IV-IAF supérieur à 110 jours	85 jours <de 15%	125 jours >25%
Fertilité : Taux de réussite en première insémination= TRIA1 % de femelles à 3 IA et plus	70% <15%	<60% >15%
Intervalle vêlage-première insémination = V-IA1(PA) % de V-IA1 supérieur à 90 jours	70 jours 0	>65 jours
Intervalle vêlage-première chaleur = IV-C1 % de IV-C1 supérieur à 70 jours	< 45 jours 0	> 70 jours

Tableau 03: Les principaux critères de mesure des performances de reproduction et les objectifs (Paccard, 1991)

I.3. Factures influençant la reproduction

I.3.1. Facteurs génétique (facteurs liés à la vache)

I.3.1.1.La race

La sélection génétique intensive, principalement orientée vers l'amélioration des caractères de production laitière, combinée aux progrès significatifs en alimentation animale et en techniques de conduite d'élevage, a entraîné une augmentation spectaculaire de la production laitière bovine. Aux États-Unis, la production par lactation et par vache a augmenté d'environ 20% entre 1980 et 2000 (**Lucy, 2001**). Cependant, sur la même période, les indices de reproduction se sont détériorés, mettant en évidence une corrélation négative entre production laitière et fécondité.

• Comparaison interspécifique des paramètres reproducteurs selon la race

L'intervalle vêlage–1^{ère} insémination artificielle (IV-IA1) varie significativement selon la race bovine :

- Cette hiérarchie est documentée par Boichard et al. (2002), qui relèvent que l'IV-IA1 est plus long en race Prim'Holstein, moins long en race Normande, et intermédiaire en race Montbéliarde.
- Mécanismes génétiques sous-jacents La détérioration des indices reproducteurs en Prim'Holstein s'explique par plusieurs mécanismes.

- Corrélation génétique négative entre production laitière et fécondité : coefficient de corrélation de $-0,22$ entre le volume de production et la fécondité (**Boichard et al, 2002**).
- Effet de la production sur l'intervalle vêlage–IA fécondante (IV-IAF) : corrélation positive forte avec $r = 0,98$ en Prim'Holstein, contrairement à $r = 0,44$ en Normande et $r = 0,58$ en Montbéliarde.
- Allongement de la période de post-partum : l'augmentation de la production laitière prolonge la durée de l'anestrie post-partum, retardant ainsi le retour à la cyclicité ovarienne.
- Évolution temporelle des paramètres reproducteurs
- L'évolution chronologique des indices de reproduction présente des profils distincts selon la race : Prim'Holstein : augmentation continue de l'IV-IA1 au cours du temps, reflétant la tendance à la détérioration progressive de la fécondité.
- Normande et Montbéliarde : stagnation relative des indices, avec des fluctuations annuelles parfois importantes mais sans tendance directionnelle nette.

Cette différence d'évolution temporelle suggère que les races à double aptitude (Normande, Montbéliarde) ont maintenu un équilibre plus stable entre production et reproduction, tandis que la Prim'Holstein, sélectionnée exclusivement pour la production laitière, a subi un compromis évolutif (trade-off) négatif sur la fécondité.

- Implications pour la conduite d'élevage

La détérioration des indices de reproduction en Prim'Holstein impose des ajustements dans les stratégies de reproduction :

- Report de la 1^{re} insémination après 90 jours de lactation pour optimiser le taux de réussite.
- Recours à des taureaux sélectionnés pour la fertilité femelle (index FER) pour compenser la faible fécondité intrinsèque.
- Intégration de la sélection génomique pour prédire les performances reproductives des candidats à la reproduction, permettant de contrebalancer la corrélation négative avec la production.

En conclusion, la race constitue un facteur génétique déterminant dans la performance reproductrice de la vache laitière, avec une hiérarchie claire : Normande > Montbéliarde > Prim'Holstein pour les paramètres de fécondité, tandis que la Prim'Holstein demeure supérieure pour la production laitière. Ce compromis entre production et reproduction illustre le principe d'élection génétique à multiple critères et nécessite une approche intégrée de la sélection pour maintenir la viabilité des troupeaux laitiers.

I.3.1.2. La lactation :

Des études expérimentales réalisées sur des troupeaux laitiers ont montré une réduction de l'intervalle vêlage–première insémination (IVV ou IV-IF) en fonction de l'âge des animaux (**Dohoo& Silva et al., 1992**). Chez la race Montbéliarde, le nombre moyen de lactations enregistré

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

au cours de la carrière des vaches est de 2,97, avec un maximum de 10 lactations. Ce rang moyen de lactation est supérieur à celui observé chez la Brune des Alpes (2,83), la Normande (2,45) et la Holstein (2,47) (**Institut de l'Élevage, 2009**).

L'évolution de la production laitière au cours de la carrière est caractérisée par une augmentation progressive durant les cinq premières lactations. Les moyennes ajustées de la production laitière de référence sont respectivement de 5 423 kg, 6 696 kg, 6 767 kg, 7 764 kg et 7 716 kg pour la première à la cinquième lactation. La production cumulée à 305 jours sur les trois premières lactations des vaches Montbéliardes est de 20 401 kg de lait en moyenne. Cette valeur diffère de seulement 615 kg par rapport aux données de référence françaises pour la même race (**Institut de l'Élevage, 2009**), et est nettement supérieure aux résultats obtenus en Tunisie, où le cumul sur trois lactations est de 10 840 kg (**Bouaroui et al., 2009**).

Parallèlement, les performances de reproduction tendent à diminuer avec l'augmentation du rang de lactation (**Hödel & Hanzen, 1996**). Le taux de conception décroît avec l'âge : il dépasse 65% chez la génisse, chute à 51% chez les primipares et atteint 35–40% chez les multipares (**Butler, 2005**).

L'intervalle vêlage-première insémination est généralement plus long lors de la première lactation que lors des lactations suivantes (**Boichard et al., 2002**).

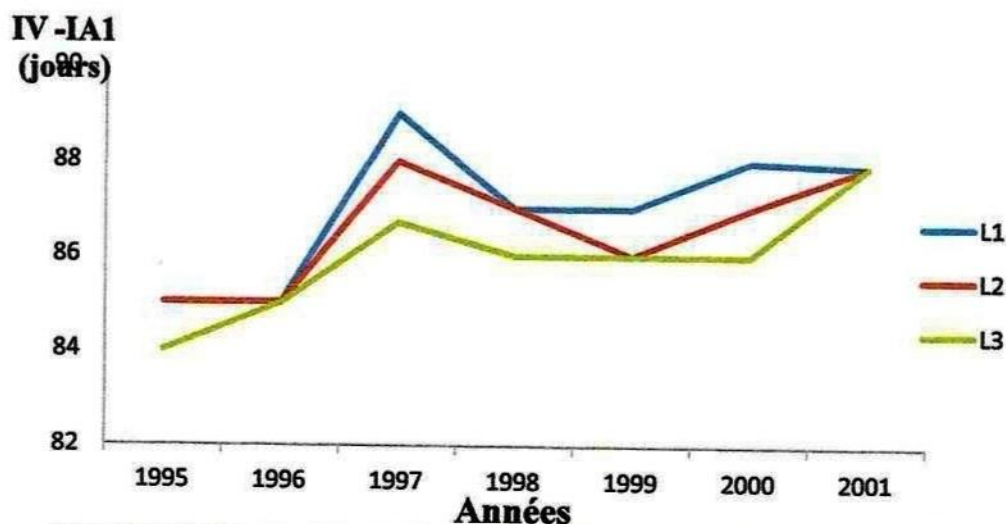


Figure 05: Evolution de l'intervalle vêlage-1ère insémination (IV-IA1) de 1995 à 2001 selon le numéro de lactation (Ln) en race Prime Holstein (BOICHARD et al.2002)

La sélection génétique orientée vers l'augmentation de la production laitière a perturbé les performances de reproduction à l'échelle mondiale (**Metge, 1990; Fourichon et al., 2000**). Elle apparaît comme un facteur de risque majeur d'anomalies de la cyclicité ovarienne (**Driancourt et al., 1991**), cet effet étant plus marqué chez les vaches multipares que chez les primipares (**Taylor**

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

et al., 2004). De plus, un niveau élevé de production laitière en début de lactation diminue le taux de réussite à la première insémination chez les multipares (**Butler & Espinasse et al., 1998**).

L'effet du niveau de production laitière sur les chances de conception est présenté dans le Tableau 4 (**Lucy, 2001**). Les taux de gestation à 100 et 200 jours selon les classes de production montrent que, malgré des variations minimales à 100 jours (56–58%), les taux à 200 jours restent élevés et stables (89–92%). Ces résultats suggèrent que la production élevée en début de lactation affecte principalement la fertilité précoce.

Moyenne de production laitière	Nombre de vaches	Taux de gestation à 100 jours	Taux de gestation à 200 jours
4000 litres et moins	3102	56	89
4000 à 6000 litres	13781	57	91
6000 à 8000 litres	10019	58	92
Plus de 8000 litres	1888	57	91

Tableau 04: l'effet du niveau de production laitière sur les chances de conception (LUCY, 2001)

I.3.1.3. L'état corporel :

Indirectement le statut énergétique des bovins en estimant l'épaisseur des réserves adipeuses superficielles au niveau des proéminences osseuses lombaires et caudales (Bazin, 1984). Cette méthode, largement utilisée en élevage, présente l'avantage d'être peu coûteuse et rapide à mettre en œuvre, tout en fournissant une estimation du statut énergétique plus fiable que la seule pesée corporelle, laquelle est influencée par la variabilité des contenus digestifs, de l'utérus et par la production laitière (**Derivaux&Hectors, 1984**).

Au cours de la lactation, la production laitière augmente progressivement après le vêlage jusqu'au pic de lactation ; en conséquence le bilan énergétique est négatif en début de lactation puis redevient positif au fur et à mesure de la montée en condition. Chez les primipares, le bilan énergétique retrouve un solde positif vers la huitième semaine post-partum, tandis que chez les multipares ce retour à l'équilibre peut s'étendre jusqu'à la douzième semaine (**Barnouin, 1983**). Cette restauration progressive du bilan permet la reconstitution des réserves corporelles avant le tarissement (**Weaver, 1987**). Le BCS est ainsi devenu un indicateur de choix pour les exploitations bovines afin d'ajuster les apports alimentaires aux besoins physiologiques (**Drame et al., 1999**).

- Recommandations et conséquences des variations du BCS
- Valeurs cibles et pertes acceptables : la valeur moyenne du BCS au vêlage doit se situer autour de 3,5; la perte d'état corporelle en début de lactation ne doit pas dépasser 0,5 à 0,7 point, indépendamment du niveau de production laitière (**Mulvany, 1977**).

- Effets sur la reprise de la cyclicité : une perte de condition excessive au postpartum retarde le retour à la cyclicité ovarienne, allongeant le délai entre mise bas et première ovulation (**Vallet, 2000; Butler & Smith, 1989**).
- Risques obstétricaux : tant les vaches trop maigres que les vaches en surpoids présentent une fréquence accrue de difficultés au vêlage. L'excès d'embonpoint, issu d'un apport énergétique trop élevé, favorise des dépôts adipeux au niveau pelvien et peut nuire aux contractions utérines, augmentant le risque de dystocie (**Bardinand et al., 2000**).
- Impact sur la reproduction : un BCS supérieur à 4 est associé à des effets délétères sur la reproduction, notamment un retard de l'involution utérine et un allongement de l'intervalle vêlage–insémination fécondante (**Steffan, 1987**).
- Période de compensation et timing de la reconstitution : la période médiane de lactation constitue la fenêtre physiologique propice à la reconstitution des réserves corporelles ; les apports alimentaires doivent être calibrés pour permettre cette remise en état (**Madani et al., 2004**). La restauration complète des réserves peut nécessiter six mois ou plus et doit être amorcée suffisamment tôt avant le tarissement, car la capacité d'ingestion diminue durant les dernières semaines de gestation (**Serieys, 1997**).
- Effets d'un mauvais état en fin de gestation : un état corporel inférieur à 3 en fin de gestation est corrélé à l'apparition d'anœstrus véritables chez les vaches laitières ou allaitantes, avec des conséquences reproductives significatives (**Bardinand et al, 2000**).

En conclusion le suivi du BCS constitue un outil pratique et fiable pour piloter la nutrition et la gestion reproductive des bovins. Maintenir un BCS adapté au moment du vêlage et limiter la perte de condition en début de lactation sont des leviers essentiels pour optimiser la reprise de la cyclicité, réduire les complications obstétricales et favoriser une performance reproductive satisfaisante.

I.3.1.4. Les conditions de vêlage et troubles du péri partum :

Le péri-partum désigne la période transitionnelle englobant les 3 semaines précédant et les 3 semaines suivant le vêlage. Cette fenêtre physiologique critique représente le pic d'incidence des pathologies chez la vache laitière, avec une fréquence des troubles de santé nettement supérieure à toute autre période du cycle de lactation.

a. L'accouchement dystocique et les principales affections post-partum chez la vache **Introduction**

L'évaluation des troubles obstétricaux et des maladies post-partum est essentielle pour comprendre leurs répercussions sur la productivité et la reproduction des troupeaux bovins laitiers. Les sections suivantes présentent une synthèse critique des facteurs de risque, des mécanismes

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

physiopathologiques et des conséquences productives et reproductives associées aux dystocies, à la gémellité et aux principales affections post-partum.

b. Dystocie

Chez la vache, la dystocie est classiquement répartie en quatre catégories selon l'intensité de l'intervention nécessaire : traction légère (aide facile), traction forte, césarienne et embryotomie (**Badinand et al., 2000**).

Les dystocies surviennent plus fréquemment chez les primipares que chez les multipares (**Thompson ; Klassen et al., 1990**).

Les étiologies sont multiples et incluent la gémellité, les présentations fœtales anormales, l'inertie utérine et la disproportion fœto-pelvienne. Les complications associées relèvent tant des manipulations obstétricales que des infections secondaires, lesquelles aggravent le pronostic maternel et néonatal (**Badinand et al., 2000**).

c. Gémellité

La fréquence de la gémellité varie selon la race et la saison (**Eddy et al., 1991**). Les grossesses gémellaires raccourcissent la durée de gestation et augmentent l'incidence d'avortement, de métrite et de réforme des animaux (**Gordon et al., 1987**).

Chez les vaches laitières, la mise à la reproduction est retardée chez les femelles ayant vêlé des jumeaux, et la fécondité apparaît réduite comparativement aux vaches allaitantes (**Hanzen et al., 1996**).

d. Hypocalcémie

L'hypocalcémie constitue un facteur de risque majeur de dystocie et d'autres pathologies du post-partum (**Hanzen et al., 1996**). Les épisodes d'hypocalcémie subclinique après vêlage sont corrélés à une perte d'état corporel plus marquée et prolongée par rapport aux vaches normocalcémiques, ce qui peut compromettre la reprise de la cyclicité et la performance laitière (**Kamgarpour et al., 1999**).

e. Rétention placentaire

La rétention placentaire augmente le risque de métrite, d'acétonémie (cétose) et de déplacement de la caillette. Sur le plan économique, elle favorise la réforme et génère des troubles de la fertilité. La rétention placentaire influence l'intervalle vêlage–vêlage (IVV) avec un effet estimé entre 0 et 10 jours (**Coleman et al., 1985**).

Les données indiquent un intervalle vêlage–insémination fécondante médian de 109 jours chez les vaches indemnes versus 141 jours chez les vaches présentant une rétention placentaire. Le taux de succès à la première insémination est de 64,4% pour les vaches saines et de 50,7% pour celles ayant subi une rétention placentaire (**Loeffler et al., 1999**).

f. Métrites

La métrite est associée à une baisse de la fertilité et à une augmentation du risque de réforme. Sur le plan physiopathologique, elle peut entraîner un anœstrus, des troubles métaboliques (acétonémie), des lésions podales et des kystes ovariens. L'impact le plus direct d'une métrite est le retard de l'involution utérine, considéré comme une cause majeure d'infertilité en élevage bovin (**Bencharif et Tainturier, 2002**).

Les études rapportent un intervalle vêlage–insémination fécondante moyen (IV-IF) de 81 jours chez les animaux sains contre 106 jours chez ceux affectés par une métrite. Le taux de réussite à la première insémination (TRI1) est de 67,5% chez les vaches saines versus 52% chez les vaches atteintes de métrite (**Metge;Fourichon et al., 2000**). Une métrite entraîne typiquement un retard du premier œstrus de 1 à 8 jours, un décalage de la première insémination de 8 à 12 jours et une réduction du TRI1 de 21 à 29% (**Eharibi;Bouzebder et al., 2006**).

j. Anœstrus post-partum

La période post-partum est critique pour la reprise de la reproduction. La haute production laitière au cours des premières semaines post-partum coïncide avec la remise en reproduction et nécessite une reprise précoce de l'activité ovarienne, une détection efficace des chaleurs et un taux de succès élevé à la première insémination (**Opsomer et al., 1996**). Un bilan énergétique négatif réduit la sécrétion de LH, ralentit la reprise de la cyclicité et diminue l'amplitude des pulses de LH et le diamètre des follicules dominants; ces paramètres s'améliorent avec le rétablissement d'un bilan énergétique positif (**Lucy, 2001**).

L'anœstrus post-partum est multifactoriel (nutrition, niveau de production laitière, saison, âge, maladies) et est particulièrement prévalent dans les élevages de grande taille (**Hanzen, 1994**).

La malnutrition affecte la dynamique folliculaire via une altération de la stimulation par la FSH, notamment par l'absence de petits follicules (< 5 mm) (**Royal;Disenhaus, 2004**).

Des mesures de gestion telles que le retrait du veau entre 20 et 30 jours ou l'arrêt temporaire de la lactation peuvent raccourcir la durée de l'anœstrus; le sevrage temporaire doit cependant durer au moins 3 jours

h. Les kystes ovariens :

En cas de kystes ovariens, le premier œstrus est retardé de 4-7 jours en moyenne, la 1^{ère} insémination est retardée de 10-13 jours en moyenne et le taux de réussite à la première insémination diminue de 20 à 11% (**Eaye et al, 1988**).

L'augmentation importante (supérieure à 1 point) de la note d'état corporel au cours des 60 derniers jours précédant le vêlage constitue un facteur de risque d'apparition des kystes ovariens (**Lopez-gatius et al, 2002**); ces mêmes vaches perdent plus de poids en post-partum (**Zulu et al, 2002**).

i. Les boiteries :

En élevage laitier, les boiteries sont au 3^{ème} rang de la hiérarchie des troubles pathologiques, après l'infertilité et les mammites. Des vaches avec un score de boiterie moyen ou sévère (supérieur à 2 sur l'échelle de 5), ont de IV-II et IV-IF plus longs ainsi qu'une fertilité réduite exprimée par un plus grand nombre d'inséminations pas conception (**Sprecher et al, 1997**). Les problèmes locomoteurs sont associés à une baisse de l'expression des chaleurs (**Boichard et al, 2002**). La plus grande incidence des boiteries a lieu entre 2 à 4 mois après le vêlage, ce qui coïncide avec la période de la mise à la reproduction des vaches. Les boiteries entraînent un IVV plus long ainsi qu'un TRII plus faible (**Gordon, 1996**).

g. Les mammites :

La mammite est une maladie couteuse non seulement en pertes de lait mais en augmentant les jours ouverts et le nombre de saillies par conception (**Barker et al, 1998**).

L'effet négatif de la mammite sur les performances de reproduction est toutefois dépendant du moment où elle survient. Une mammite clinique apparaît avant la 1^{ère} saillie n'aurait que très peu d'effet sur 1 conception, mais une mammite survenue dans les trois premières semaines suivant la 1^{ère} saillie réduisant 50% le risque de conception (**Loeffler et al, 1999**). Le nombre de saillie par conception est significativement plus grand chez les vaches ayant expérimentées une mammite après la 1^{ère} saillie (2.9 saillie/conception) que chez les vaches avec mammite avant la 1^{ère} saillie (1.6 saillie/conception) et avec mammite après confirmation de la gestation (1.7 saillie/conception) (**Barker et al, 1998**).

I.3.2. Facteurs Sanitaires

I.3.2.1. Taille du troupeau et type de stabulation :

La relation entre les paramètres d'hébergement et les performances reproductives des vaches laitières constitue un déterminant majeur de la fertilité animale. Les données épidémiologiques montrent que l'augmentation de la taille du troupeau est significativement corrélée à une diminution de la fertilité (**Lopez-Gatius et al, 2002**). Cette corrélation négative suggère que les contraintes de gestion et les risques infectiels s'accroissent proportionnellement avec la densité animale.

Le type de stabulation représente un facteur distinctif critique dans la variabilité des performances de reproduction. Les troupeaux présentant une fertilité compromise sont majoritairement logés en stabulation entravée (à l'attache), tandis que la stabulation libre prédomine dans les groupes affichant une fertilité optimale (**Barnouin, 1983**). Cette dichotomie s'explique par deux mécanismes physiologiques et comportementaux : Facilité de détection des chaleurs : La stabulation libre permet une observation plus précise des signes pré-ovulatoires grâce à la liberté de mouvement et aux comportements d'approche entre vaches (**Paccard, 1981**).

- **Activité physique et exercice :** La mobilité accrue en stabulation libre favorise un exercice plus important, essentiel pour le maintien de la fonction reproductive et de l'état corporel (**Paccard, 1981**).

Les infections génitales constituent la principale pathologie reproductrice prévalent en stabulation entravée, où les désordres de reproduction sont fréquemment observés (**Dekruif, 1975**).

Le confinement longitudinal et la limitée mobilité augmentent le risque de contamination bactérienne et réduisent l'immunité locale.

La nature du sol exerce une influence considérable sur les performances de reproduction, agissant comme un facteur environnemental modulateur. Les sols durs (bétonnés) présentent une incidence négative comparative aux sols recouverts de litière (paillage, copeaux), qui améliorent le confort de couchage, réduisent les traumatismes musculo-squelettiques et favorisent la réactivité comportementale (**Britt, 1986**). Cette différence de performance s'articule autour de critères de bien-être animal directement corrélés à la fonction hormonale reproductive. En synthèse, l'optimisation des conditions d'hébergement via la stabulation libre et l'utilisation de sols avec litière constitue une stratégie préventive efficace pour améliorer la fertilité des troupeaux laitiers.

I.3.3. Facteurs Environnements Influençant la Fertilité des Bovins Laitiers :

I.3.3.1. Paramètres Climatiques

La variabilité climatique quotidienne caractérisée par des amplitudes thermiques importantes exerce une influence négative plus prépondérante sur la fertilité reproductive qu'un environnement thermique hostile mais stationnaire, auquel les animaux développent une acclimatation physiologique (**Gwazdauskas, 1985**). Ce phénomène s'explique par l'absence de mécanismes d'adaptation homéostatique face aux fluctuations rapides des paramètres thermo-environnementaux.

De plus, il est établi que les vaches laitières présentent une vulnérabilité thermosensible supraplante comparativement aux génisses (**Thatcher et Collier, 1986**). Cette différence intercatégorielle est attribuable à :

La masse corporelle supérieure des vaches, entraînant une production métabolique thermique accrue

La production lactée élevée, générant un stress métabolique supplémentaire
Les mécanismes thermorégulateurs moins efficaces chez les animaux adultes en raison de changements morphométriques

Le stress thermique induit une cascade de réponses physiopathologiques incluant :
Perturbation de la sécrétion hormonale (baisse de l'estradiol, augmentation du cortisol)

CHAPITRE I : REPRODUCTION DES VACHES LAITIÈRES

Déficit énergétique par réduction de l'ingestion alimentaire

Stress oxydatif embryonnaire

Mortalité embryonnaire précoce par altération de la fonctionnalité du trophoblaste

I.3.3.2. Effets Saisonniers de la Fertilité

Le taux de conception chez les vaches Holstein présente une variabilité saisonnière significative avec une réduction de 52% en période hivernale et de 24% en période estivale (**Barker et al., 1998**). Cette disparité saisonnière s'explique par l'interaction complexe entre les paramètres thermo-environnementaux et les rythmes endocriniens.

Durant les saisons hyperthermiques, on observe des allongements statistiquement significatifs des intervalles reproducteurs suivants :

IV-I : +7 jours

IV-IF: +12 jours

IVV : +13 jours

(Silva et al., 1992)

où :

IV-I₁ : Intervalle Vêlage-Insémination Première, **IV-IF** : Intervalle Vêlage-Fermeture (conception), **IVV** : Intervalle Vêlage-Vêlage.

Ces prolongations reflètent :

- Une diminution de l'expression des signes de stérilité
- Une réduction de la qualité ovocytaire
- Une augmentation de la mortalité embryonnaire
- Une altération de la réceptivité endométriale

Note de résilience phénotypique : En Arabie Saoudite, l'industrie laitière démontre une capacité d'adaptation aux contraintes thermiques estivales grâce à l'application de stratégies de gestion environnementale (climatisation, alimentation stratégique, hydratation optimisée) (Gordon et al., 1987), attestant que les effets négatifs du stress thermique sont modulables par des interventions technologiques appropriées.

CHAPITRE II :
ALIMENTATION DES
VACHES LAITIÈRES

II. ALIMENTATION DES VACHES LAITIÈRES

II.1. Généralités sur l'alimentation des vaches laitières

II.1.1. Définition de l'alimentation

L'alimentation des vaches laitières regroupe tous les mécanismes par lesquels l'animal prend et transforme les aliments pour obtenir l'énergie, les protéines, les minéraux et les vitamines nécessaires à sa survie, sa reproduction et sa production de lait. Chez les ruminants, ces mécanismes dépendent d'un appareil digestif poly gastrique spécialisé : le rumen joue un rôle central en hébergeant une communauté microbienne qui fermente et dégrade les fibres que l'animal ne peut pas digérer seul.

Nourrir correctement une vache laitière implique donc de penser à la fois aux besoins de l'animal (besoins énergétiques, protéiques, minéraux et vitaminiques) et aux conditions de vie de la microflore ruminale (disponibilité des substrats, pH, vitesse de passage). Cette interaction détermine la production d'acides gras volatils — la principale source d'énergie pour la vache — ainsi que la synthèse microbienne d'acides aminés utilisables par l'hôte.

En pratique, il faut chercher un équilibre entre les constituants fermentescibles (sources d'énergie rapidement utilisables) et les éléments structuraux (fibres) qui maintiennent la santé ruminale, et synchroniser l'apport d'énergie et d'azote fermentescible pour optimiser la production laitière, la santé métabolique et la fertilité (INRAE, 2018).

II.1.2. Importance de l'alimentation chez la vache laitière

Le pilotage nutritionnel constitue le levier stratégique majeur de l'élevage laitier contemporain, articulé autour de trois priorités essentielles :

Économique : L'alimentation représente le principal poste de charges variables en élevage bovin laitier, oscillant entre 55 % et 65 % des coûts totaux de production selon les systèmes de conduite (Institut de l'Élevage, 2024).

Sanitaire : Les transitions alimentaires mal maîtrisées et les déséquilibres de la ration sont directement impliqués dans l'étiologie des troubles métaboliques majeurs comme l'acidose ruminale subclinique (ARS), la cétose ou la stéatose hépatique (Saborío-Montero et al., 2023).

Productif et qualitatif : La composition biochimique de la ration module directement le rendement laitier ainsi que les taux d'intérêt commercial, à savoir le taux butyreux (TB) et le taux protéique (TP).

CHAPITRE II : ALIMENTATION DES VACHES LAITIÈRES

II.1.3. Objectifs de l'alimentation

La formulation d'une ration moderne poursuit des objectifs multidimensionnels : Assurer la couverture stricte des besoins d'entretien (métabolisme de base, thermorégulation, activité motrice).

Soutenir l'expression du potentiel génétique de production laitière quantitative et qualitative. Garantir la persistance de la courbe de lactation tout en préservant l'intégrité de la sphère reproductive (reprise de l'activité cyclique post-partum). Optimiser l'efficacité d'utilisation de l'azote et de l'énergie afin de réduire l'empreinte environnementale, notamment par la limitation des rejets azotés et des émissions de méthane (CH₄) entérique (Van Gastelen et al., 2019).

II.2. Besoins nutritionnels de la vache laitière

II.2.1. Besoins énergétiques Sources d'énergie

L'apport énergétique repose majoritairement sur la fermentation ruminale des glucides de la ration. Le système INRAE (2018) segmente ces substrats en deux fractions : Les glucides pariétaux ou structurels (Nouveau critère NDF, ADF, ADL), qui mesurent les teneurs en cellulose, hémicellulose et lignine. Ils procurent une énergie diffuse et garantissent le pouvoir fibrogène de la ration, indispensable à la rumination.

Les glucides non structurels (amidon et sucres solubles), apportés par les concentrés énergétiques, caractérisés par une cinétique de dégradation rapide. Ces structures glucidiques sont hydrolysées par le microbiote ruminal en Acides Gras Volatils (AGV). L'acétate, le propionate et le butyrate représentent ainsi plus de 70 % de l'énergie nette assimilée par le ruminant. L'évaluation de cette valeur énergétique s'exprime en Unité Fourragère Lait (UFL), où 1 UFL correspond à la valeur d'un kilogramme d'orge standard (soit 1700 kcal d'énergie nette).

Rôle de l'énergie dans la production et la reproduction :

L'énergie orchestre les grandes voies de biosynthèse de l'animal :

- **En production** : Le propionate constitue le principal précurseur du glucose par la voie de la néoglucogenèse hépatique. Ce glucose est le substrat exclusif de la synthèse du lactose mammaire, paramètre osmotique qui régit le volume d'éjection du lait. L'acétate et le butyrate fournissent les unités carbonées nécessaires à la lipogenèse mammaire de novo (TB).
- **En reproduction** : Le début de la lactation est marqué par un Bilan Énergétique Négatif (BEN) physiologique, l'ingestion de matière sèche restant insuffisante face aux besoins de la pointe de lactation. Un BEN exacerbé induit une lipolyse massive (mobilisation des graisses corporelles), objectivée par l'élévation des Acides Gras Non Estérifiés (AGNE) sanguins. Cette situation altère

CHAPITRE II : ALIMENTATION DES VACHES LAITIÈRES

directement la pulsativité de la GnRH et de la LH, freine le développement du follicule dominant et affecte la qualité des ovocytes, entraînant des retards d'ovulation et une mortalité embryonnaire précoce accrue (Walsh et al., 2011 ; Roche et al., 2018).

II.2.2. Besoins azotés (protéiques) :

Matières azotées totales (MAT) :

La teneur en MAT (ou protéine brute) correspond à la quantification globale de l'azote élémentaire de l'aliment. Bien qu'utile pour caractériser la ration en première approche, cet indicateur ne préjuge pas de la dynamique de dégradation de la matière azotée au sein des pré-estomacs.

Protéines digestibles dans l'intestin (PDI)

Le système PDI quantifie la quantité réelle d'acides aminés absorbés dans l'intestin grêle. Le modèle actualisé INRAE (2018) affine cette estimation en distinguant :

- **Les PDIA** : Protéines d'origine alimentaire ayant échappé à la dégradation microbienne dans le rumen (protéines tannées ou naturellement protégées).
- **Les PDIM** : Protéines d'origine microbienne, issues de la digestion des micro-organismes du rumen dans l'abomasum et l'intestin.

La synthèse de ces protéines microbiennes dépend du facteur limitant de la ration : soit l'azote dégradable disponible (potentiel PDIN), soit l'énergie fermentescible disponible (potentiel PDIE). La ration optimale vise l'équilibre strict entre le PDIN et le PDIE pour maximiser l'efficacité microbienne.

Effets d'une carence ou d'un excès d'azote sur la reproduction
Carence azotée : Un déficit en azote dégradable limite la multiplication de la microflore ruminale, ce qui réduit la digestibilité de la matière organique et accentue le déficit énergétique. Sur le plan de la reproduction, cela induit une anœstrus de carence et une baisse sévère de la synthèse de progestérone, hormone indispensable au maintien de la gestation.
Excès azoté : L'excès d'azote soluble conduit à une production excédentaire d'ammoniac (NH_3) dans le rumen, converti en urée par le foie. L'hyperurémie qui en découle altère l'environnement utérin par acidification du fluide endométrial, ce qui exerce une action embryotoxique directe et compromet les chances d'implantation lors de l'insémination (Leroy et al., 2015).

II.2.3. Besoins minéraux :

Les macro-minéraux et les oligoéléments agissent comme des cofacteurs biochimiques et des constituants structurels essentiels.

Calcium (Ca) :

Le calcium intervient dans la contraction musculaire, la transmission nerveuse et la synthèse du fluide lacté. La transition tarissement-lactation est une phase ultra-critique : l'augmentation

CHAPITRE II : ALIMENTATION DES VACHES LAITIÈRES

soudaine de la demande en calcium pour le colostrum peut provoquer une défaillance des mécanismes d'homéostasie (PTH et Vitamine D), entraînant une hypocalcémie clinique (fièvre de lait) ou subclinique. Cette dernière est un facteur de risque majeur pour le non-délivrance, les métrites et les déplacements de l'abomasum (Santos et al., 2019).

Phosphore (P) :

Constituant majeur des acides nucléiques et des molécules de transfert d'énergie (ATP). Un apport optimal est nécessaire au maintien de la cyclicité ovarienne. Les recommandations récentes incitent à éviter les surcharges en phosphore pour limiter les rejets environnementaux, sans pour autant pénaliser la fertilité (Lean et al., 2014).

Magnésium(Mg) :

Le magnésium est le régulateur clé de l'excitabilité neuromusculaire et un cofacteur indispensable à la sécrétion de la parathormone (PTH). Sa carence, fréquente lors de la mise à l'herbe au printemps (herbe jeune riche en azote et en potassium qui antagonisent le Mg), induit la tétanie d'herbage.

Oligoéléments (Zn, Cu, Se, I) :

Leurs actions, bien que requises à l'échelle du milligramme par jour, impactent fortement la reproduction et l'immunité :

Zinc (Zn) : Indispensable à la synthèse de la kératine, il renforce l'intégrité du sphincter du trayon (limitation des mammites) et la dureté de la corne des onglons.

Cuivre (Cu) : Impliqué dans la fonction de reproduction via les systèmes enzymatiques (super oxyde dismutase). Sa carence induit des anémies et des retards d'ovulation.

Sélénium (Se) : Antioxydant majeur agissant de concert avec la vitamine E. Une subcarence en sélénium augmente significativement la prévalence des rétentions placentaires et des infections utérines post-partum (Spears et Weiss, 2014).

Iode (I) : Constituant des hormones thyroïdiennes (T₃, T₄), il régule le métabolisme basal. Un déficit engendre des mortalités néonatales et des syndromes de "veaux faibles".

II.2.4. Besoins vitaminiques :

Alors que les vitamines hydrosolubles (groupe B) et la vitamine K sont synthétisées en quantité suffisante par les micro-organismes du rumen, les vitamines liposolubles doivent être apportées par l'alimentation.

- **Vitamine A (Rétinol) :** Garante de la régénération et de la protection des épithéliums, notamment de l'endomètre utérin.
- **Vitamine D (Calcitriol) :** Hormone clé du métabolisme phosphocalcique, elle stimule l'absorption intestinale du calcium et sa mobilisation osseuse lors du pic de lactation.

CHAPITRE II : ALIMENTATION DES VACHES LAITIÈRES

- **Vitamine E (alpha-tocophérol)** : Protecteur des membranes cellulaires contre le stress oxydatif. Son administration en période péri-partum renforce l'activité phagocytaire des neutrophiles, protégeant la mamelle et l'utérus (Sordillo, 2016).
- **Bêta-carotène** : Outre son rôle de précurseur de la vitamine A, il s'accumule spécifiquement dans le corps jaune ovarien. Les données scientifiques confirment qu'un apport ciblé en bêta-carotène améliore l'intensité des chaleurs, augmente le taux de conception en première insémination et réduit l'incidence des kystes ovariens (Puglisi et al., 2022).

II.2.5. Besoins en eau :

L'eau est quantitativement le premier nutriment de la vache laitière. Le lait contenant environ 87 % d'eau, les flux hydriques sont intenses. Une vache en lactation nécessite entre 4 et 5 litres d'eau par kilogramme de lait produit, ce qui porte les besoins quotidiens à 100 - 160 litres d'eau par animal en conditions tempérées (Appuhamy et al., 2016). Ces besoins doublent en situation de stress thermique (Indice THI élevé). Une restriction hydrique, même temporaire, ou une dégradation de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau entraîne une baisse immédiate de l'ingestion de matière sèche (IMS), suivie d'un effondrement concomitant de la production laitière et d'une altération des paramètres métaboliques.

CHAPITRE III :
RELATION ENTRE
L'ALIMENTATION ET
LA REPRODUCTION

III. RELATION ENTRE L'ALIMENTATION ET LA REPRODUCTION

L'alimentation est le levier majeur qui conditionne la réussite de la reproduction chez la vache laitière. En élevage moderne, l'optimisation des performances reproductives dépend d'une gestion nutritionnelle fine, en particulier durant la période de transition (mois précédant et suivant le vêlage).

III.1. Le Bilan Énergétique Négatif (BEN) et l'Anœstrus Post-Partum :

Au début de la lactation, les capacités d'ingestion de la vache sont insuffisantes pour couvrir les besoins liés à la production de lait. L'animal entre en Bilan Énergétique Négatif (BEN) et doit mobiliser ses réserves corporelles.

Mécanisme : Un BEN sévère induit une baisse des concentrations sanguines d'insuline et de glucose, ainsi que d'IGF-1 (Insulin-like Growth Factor 1). Ce signal métabolique défavorable bloque la sécrétion pulsatile de la GnRH au niveau de l'hypothalamus, ce qui empêche le pic de LH nécessaire à l'ovulation. Les vaches restent en anœstrus prolongé.

III.2. Évolution de la Note d'État Corporel (NEC) et Qualité Ovocytaire :

La Note d'État Corporel (NEC) permet de quantifier visuellement l'état des réserves de graisse. C'est l'ampleur de la perte de NEC en début de lactation, plutôt que la note absolue, qui altère la fertilité.

Mécanisme : Les lipides mobilisés entraînent une augmentation des Acides Gras Non Estérifiés (AGNE) et du béta-hydroxybutyrate (BHB) dans le sang. Ces métabolites pénètrent dans le fluide folliculaire et exercent un effet lipo-toxique direct sur les cellules de la granulosa et sur l'ovocyte en croissance. Les ovocytes libérés 60 à 80 jours plus tard présentent des anomalies de maturation, ce qui chute le taux de réussite à l'insémination (IA1 %) et augmente la mortalité embryonnaire précoce.

III.3. Excès d'Azote, Urémie et Environnement Utérin :

Si l'apport de protéines est indispensable à la production laitière, un excès de matières azotées dégradables dans le rumen (ou un manque d'énergie fermentescible pour les synchroniser) nuit gravement à la reproduction.

Mécanisme : L'excès d'ammoniac hépatique est converti en urée. Une concentration élevée d'urée dans le sang et les fluides utérins modifie le pH de l'utérus, altère l'immunité locale et perturbe l'expression des récepteurs à la progestérone. L'environnement devient hostile aux spermatozoïdes et à la survie de l'embryon, ce qui induit des retours en chaleurs répétés et fait grimper l'index de coït (nombre d'IA/vache).

III.4. Rôle des Oligo-Éléments et des Vitamines (Stress Oxydatif) :

La période péri-partum s'accompagne d'un stress oxydatif physiologique majeur. Une couverture inadéquate en micronutriments entrave directement les fonctions de reproduction.

Mécanisme : Le sélénium, le cuivre, le zinc et les vitamines (A, E) agissent comme des antioxydants ou des cofacteurs enzymatiques. Un déficit limite la capacité de l'utérus à se contracter et à éliminer les enveloppes fœtales. Cela se traduit par une prévalence accrue de rétentions placentaires, de métrites et d'un retard d'involution utérine, prolongeant mécaniquement la période de vacuité (jours ouverts).

III.5. Recommandations et Systèmes de Rationnement Actuels :

Pour maximiser les performances reproductives, les rations doivent être équilibrées de manière rigoureuse en adaptant les apports énergétiques et protéiques afin de sécuriser la santé métabolique de la matrice utérine.

III.6. Effets des troubles sanitaires d'origine nutritionnelle sur la dynamique de carrière et les indicateurs de reproduction du troupeau laitier :

La période de transition chez la vache laitière haute productrice constitue une phase critique où les erreurs de rationnement nutritionnel conditionnent directement la trajectoire sanitaire et l'ensemble des indicateurs de reproduction de l'exploitation. Un déséquilibre dans la Balance Anions-Cations de la Ration (BACA) ou un déficit d'apport en micronutriments durant le tarissement altère l'homéostasie calcique au vêlage, déclenchant l'hypocalcémie (ou fièvre de lait), qu'elle soit clinique ou subclinique (Horst et al., 2024). Le calcium étant un second messenger essentiel à la contraction des muscles lisses, sa carence induit une atonie utérine. Ce défaut de contractilité du myomètre empêche l'expulsion normale des annexes fœtales, provoquant une rétention placentaire (LeBlanc, 2024). Le tissu placentaire retenu subit une autolyse rapide au sein de la lumière utérine, créant un milieu de culture idéal pour la prolifération de pathogènes opportunistes (*Escherichia coli*, *Trueperella pyogenes*), ce qui conduit au développement d'une métrite puerpérale ou d'une endométrite chronique (Sheldon et al., 2025). Parallèlement, cette hypocalcémie paralyse le muscle sphincter du trayon, ouvrant une voie royale aux infections mammaires ascendantes responsables de mammites (Sordillo, 2024), tandis que la baisse immunitaire et le décubitus prolongé favorisent l'apparition de boiteries sévères (Whay et al., 2025).

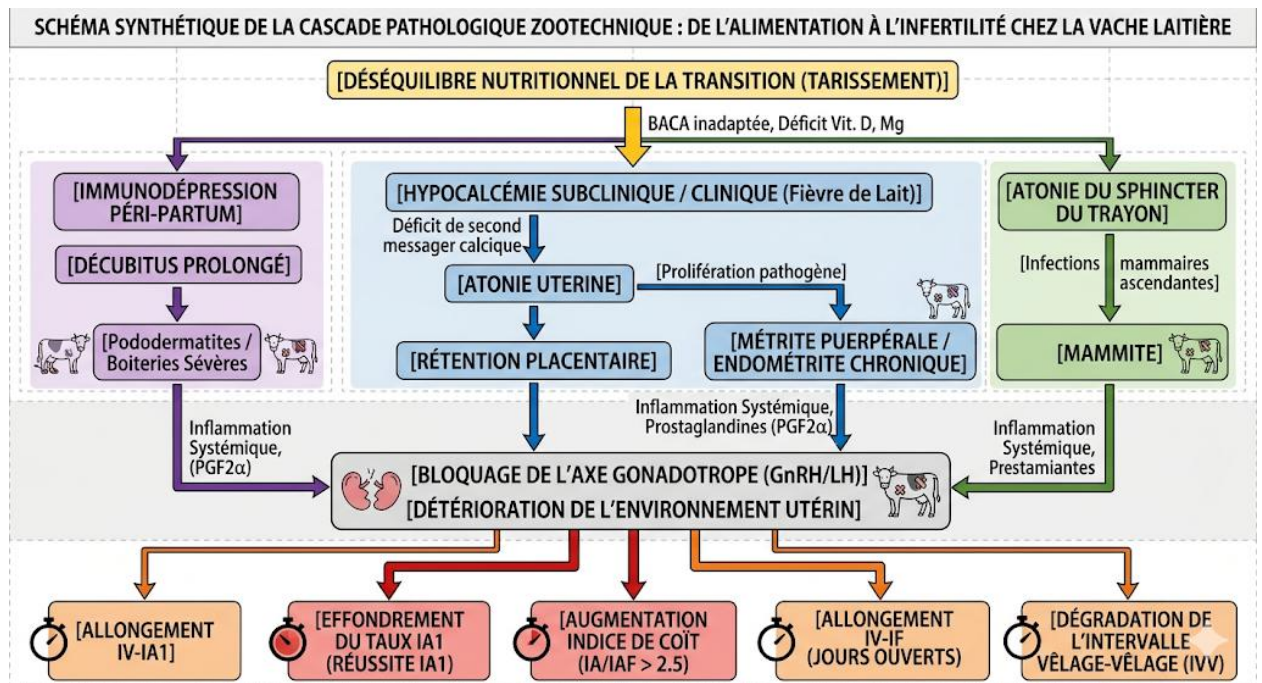
CHAPITRE III : RELATION ENTRE L'ALIMENTATION ET LA REPRODUCTION

L'ensemble de ce complexe pathologique (métrite, mammite, boiterie) engendre une inflammation systémique chronique. Les cytokines pro-inflammatoires libérées altèrent l'axe gonadotrope au niveau hypothalamo-hypophysaire, bloquant les pics de LH nécessaires à l'ovulation, tout en détériorant l'environnement histotrophique de l'utérus (Santos et al., 2026). Sur le plan zootechnique, cette dégradation sanitaire se traduit d'abord par un allongement significatif de l'intervalle vêlage-première insémination (IV-IA1) en raison d'un anestrus prolongé. L'environnement utérin hostile induit par la métrite effondre le taux de réussite à la première insémination (Taux de réussite IA1) et multiplie les échecs de nidation et les mortalités embryonnaires précoces. En conséquence, le nombre d'inséminations nécessaires pour obtenir une insémination fécondante (Indice de coït / IA par conception) augmente drastiquement, dépassant souvent le seuil critique de 2,5. Cette accumulation d'échecs repousse l'intervalle vêlage-insémination fécondante (IV-IF) bien au-delà des 110 jours cibles, ce qui dégrade directement l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) global de la ferme laitière, pénalisant lourdement la rentabilité économique de la structure (Lucy & Pohler, 2025). La période de transition chez la vache laitière haute productrice constitue une phase critique où les erreurs de rationnement nutritionnel conditionnent directement la trajectoire sanitaire et l'ensemble des indicateurs de reproduction de l'exploitation. Un déséquilibre dans la Balance Anions-Cations de la Ration (BACA) ou un déficit d'apport en micronutriments durant le tarissement altère l'homéostasie calcique au vêlage, déclenchant l'hypocalcémie (ou fièvre de lait), qu'elle soit clinique ou subclinique (Horst et al., 2024). Le calcium étant un second messenger essentiel à la contraction des muscles lisses, sa carence induit une atonie utérine. Ce défaut de contractilité du myomètre empêche l'expulsion normale des annexes fœtales, provoquant une rétention placentaire (LeBlanc, 2024). Le tissu placentaire retenu subit une autolyse rapide au sein de la lumière utérine, créant un milieu de culture idéal pour la prolifération de pathogènes opportunistes (*Escherichia coli*, *Trueperella pyogenes*), ce qui conduit au développement d'une métrite puerpérale ou d'une endométrite chronique (Sheldon et al., 2025). Parallèlement, cette hypocalcémie paralyse le muscle sphincter du trayon, ouvrant une voie royale aux infections mammaires ascendantes responsables de mammites (Sordillo, 2024), tandis que la baisse immunitaire et le décubitus prolongé favorisent l'apparition de boiteries sévères (Whay et al., 2025).

L'ensemble de ce complexe pathologique (métrite, mammite, boiterie) engendre une inflammation systémique chronique. Les cytokines pro-inflammatoires libérées altèrent l'axe gonadotrope au niveau hypothalamo-hypophysaire, bloquant les pics de LH nécessaires à l'ovulation, tout en détériorant l'environnement histotrophique de l'utérus (Santos et al., 2026). Sur le plan zootechnique, cette dégradation sanitaire se traduit d'abord par un allongement significatif

CHAPITRE III : RELATION ENTRE L'ALIMENTATION ET LA REPRODUCTION

de l'intervalle vêlage-première insémination (IV-IA1) en raison d'un anestrus prolongé. L'environnement utérin hostile induit par la métrite effondre le taux de réussite à la première insémination (Taux de réussite IA1) et multiplie les échecs de nidation et les mortalités embryonnaires précoces. En conséquence, le nombre d'inséminations nécessaires pour obtenir une insémination fécondante (Indice de coït / IA par conception) augmente drastiquement, dépassant souvent le seuil critique de 2,5. Cette accumulation d'échecs repousse l'intervalle vêlage-insémination fécondante (IV-IF) bien au-delà des 110 jours cibles, ce qui dégrade directement l'intervalle vêlage-vêlage (IVV) global de la ferme laitière, pénalisant lourdement la rentabilité économique de la structure (Lucy & Pohler, 2025).



CHAPITRES IV :
PARTIE
EXPERIMENTALE

IV. PARTIE EXPERIMENTALE**IV.1-Méthodologie****IV.1.1- Présentation de la zone d'étude**

Figure 06 : Ferme de vache laitière "SOUMMAM"(Google Map)

Le présent travail a été réalisé au sein de deux exploitations bovines laitières appartenant au groupe Soummam, située dans la wilaya de Djelfa. Cette zone d'étude est caractérisée par un climat semi-aride marqué par une forte variabilité saisonnière, avec des hivers froids et des étés particulièrement secs et chauds. Le choix de ces exploitations repose sur plusieurs considérations méthodologiques et pratiques. D'une part, l'importance de l'effectif du cheptel garantit une représentativité satisfaisante de l'échantillon étudié. D'autre part, la mise en place d'un système structuré de suivi technico-économique permet l'accès à des données fiables et complètes, indispensables pour l'évaluation des paramètres liés à l'alimentation, la production, à la reproduction et à l'état sanitaire des animaux.

Par ailleurs, notre intégration professionnelle en tant que médecin vétérinaire au sein de ces exploitations a constitué un atout déterminant pour la réalisation de ce travail. Cette immersion sur le terrain a permis d'assurer un suivi continu, à la fois clinique et zootechnique.

IV.1.2- Animaux, matériels et installations dans les fermes :

	Vache laitière	veaux	Veles	génisses	taurillons	total
Ferme (1)	659	6	41	366	4	1076
Ferme(2)	400	3	23	/	3	429

Tableau 05 : Cheptel totale des fermes**IV.2-REPARTITION DES FERMES :**

Les deux exploitations appartiennent au même propriétaire, disposent d'une infrastructure similaire et élèvent exclusivement des vaches laitières de race Holstein. Elles sont conduites selon le même système d'élevage et les mêmes pratiques de gestion ; la principale différence réside dans la stratégie alimentaire appliquée.

IV.2.1-Système d'élevage et gestion d'alimentation :

L'exploitation est conduite selon un mode d'élevage intensif, caractérisé par une maîtrise des conditions de production et une distribution automatisée des aliments. Ce système permet d'assurer une alimentation homogène, adaptée aux besoins physiologiques des vaches à chaque stade de production.

**Figure 07: Mélangeuse de distribution****IV.2.2- Box de vêlage :**

Endroit pour les vaches gestante approche de la mise basse sont regrouper dans cette espace afin d'assurer leur préparation au vêlage et de garantir de bonne condition de naissance des veaux.

Les vaches ayant vêlé sont également maintenues pendant la période colostrale, puit orienté vers le troupeau laitier pour la production de lait.



Figure 08: Box de vêlage

IV.2.3-la nurserie :

Espace réserver aux veaux nouveaux nés ou ils sont hébergés dès le premier jour de vie jusqu'à l'Age d'un mois



Figure 09 : nurserie Age de 1 jour

VI.2.4- Air de repo :



Figure 10 : air d'exercice

IV.2.5- Endroit de stockage d'aliment :

Figure 11 : endroit de stockage d'aliment

IV.3-La conduite des vaches laitières**IV.3.1- Stabulation fermée dans les hangars**

Chaque étable a une capacité de 160 vaches.

Chaque étable a un air de joue.

Chaque groupe a son propre espace dans l'étable .

Accès libre à l'eau et à l'alimentation.



Figure 12 : ETABLE DES VACHES

IV.4- ALIMENTATION ET RATIONNMENT

IV.4.1-Différents types des aliments et ces compositions chimiques

A- ensilage de maïs :



Figure 13 : Ensilage de maïs

Composition chimique d'ensilage de maïs :

Paramètre	Méthode	Sur l'échantillon (tel qu'il est)	Sur l'échantillon (matière sèche)	Unité de mesure
Humidité	Chauffage ⁰	73,02		% (g/100g)
Matière Sèche	Par calcul	26,98		% (g/100g)
Protéines brutes	NIR	2,77	10,26	% (g/100g)
Fraz. N (A1+A2) haute dégradabilité :	NIR	53,00		% : Nsol/Ntot
Fibre brut	NIR	7,04	26,11	% (g/100g)
Huiles et lipides bruts	NIR	0,66	2,44	% (g/100g)
Cendres brutes	NIR	1,74	6,45	% (g/100g)
aNDFom (s. cendres)	NIR	14,23	52,72	% (g/100g)
aDFom (s. cendres)	NIR	7,86	29,12	% (g/100g)
ADL-Lignine	NIR	0,46	1,71	% (g/100g)
Amidon ¹	NIR	2,40	8,89	% (g/100g)
NFC (Carbohydate non fibreux) ²	Par calcul	7,59	28,12	% (g/100g)
Sucres	NIR	2,69	9,98	% in glucose
Ammoniac	NIR	448	1661	ppm (mg/Kg)
N ammoniac/N Total	Par calcul	8,3		%/Ntot
Acide Lactique	NIR	2,091	7,749	% (g/100g)
Acide Acétique	NIR	0,457	1,695	% (g/100g)
Acide Butyrique	NIR	0,072	0,267	% (g/100g)
pH	NIR	3,87		
UFL	INRA	0,25	0,93	
Calcium (Ca)	XFR ³	0,119	0,442	% (g/100g)
Chlore (Cl)	XFR ³	0,131	0,487	% (g/100g)
Potassium (K)	XFR ³	0,314	1,164	% (g/100g)
Magnésium (Mg)	XFR ³	0,080	0,297	% (g/100g)

Sodium (Na)	XFR ³	0,025	0,095	% (g/100g)
Soufre (S)	XFR ³	0,044	0,165	% (g/100g)
Phosphore (P)	XFR ³	0,065	0,242	% (g/100g)
Fer (Fe)	XFR ³	64,6	239,3	ppm (mg/kg)
Cuivre (Cu)	XFR ³	0,5	1,8	ppm (mg/kg)
Zinc (Zn)	XFR ³	4,2	15,5	ppm (mg/kg)
Manganèse (Mn)	XFR ³	4,9	18,0	ppm (mg/kg)
Silice (Si)	XFR ³	0,24	0,89	% (g/100g)
Aluminium (Al)	XFR ³	83	308	ppm (mg/kg)
DCAD (Ender 1971) ⁴	Par calcul		9,87	meq/100g

B) La luzerne enrubannée :



Figure 14 : La luzerne

Composition chimique de la luzerne :

Paramètre	Méthode	Sur l'échantillon (tel qu'il est)	Sur l'échantillon (matière sèche)	Unité de mesure
Humidité	Chauffage ⁰	65,77		% (g/100g)
Matière Sèche	Par calcul	34,23		% (g/100g)
Protéines brutes	NIR	6,51	19,03	% (g/100g)
Fraz. N (A1+A2) haute dégradabilité :	NIR	71,9		% : Nsol/Ntot
Fibre brut	NIR	11,87	34,68	% (g/100g)
Huiles et lipides bruts	NIR	1,09	3,17	% (g/100g)
Cendres brutes	NIR	3,22	9,40	% (g/100g)
aNDF	NIR	15,57	45,47	% (g/100g)
aNDFom (s. cendres)	NIR	15,46	45,16	% (g/100g)
aDFom (s. cendres)	NIR	13,05	38,12	% (g/100g)
ADL-Lignine	NIR	2,71	7,91	% (g/100g)
Amidon ¹	NIR	0,78	2,27	% (g/100g)
NFC (Carbohydate non fibreux) ²	Par calcul	7,96	23,24	% (g/100g)
Sucres	NIR	0,60	1,74	% in glucose
Ammoniac	NIR	946	2764	ppm (mg/Kg)
N ammoniac/N Total	Par calcul	7,4		%/Ntot
Acide Lactique	NIR	0,972	2,839	% (g/100g)
Acide Acétique	NIR	0,189	0,551	% (g/100g)
Acide Butyrique	NIR	0,025	0,072	% (g/100g)
pH	NIR	5,01		
UFL	INRA	0,27	0,79	
Calcium (Ca)	XFR ³	0,631	1,843	% (g/100g)
Chlore (Cl)	XFR ³	0,381	1,114	% (g/100g)
Potassium (K)	XFR ³	0,727	2,124	% (g/100g)
Magnésium (Mg)	XFR ³	0,114	0,334	% (g/100g)

Sodium (Na)	XFR ³	0,13	0,381	% (g/100g)
Soufre (S)	XFR ³	0,163	0,475	% (g/100g)
Phosphore (P)	XFR ³	0,063	0,185	% (g/100g)
Fer (Fe)	XFR ³	101,9	297,7	ppm (mg/kg)
Cuivre (Cu)	XFR ³	3,7	10,9	ppm (mg/kg)
Zinc (Zn)	XFR ³	10,8	31,6	ppm (mg/kg)
Manganèse (Mn)	XFR ³	12,4	36,2	ppm (mg/kg)
Silice (Si)	XFR ³	0,07	0,21	% (g/100g)
Aluminium (Al)	XFR ³	131	382	ppm (mg/kg)
DCAD (Ender 1971) ⁴	Par calcul		9,85	meq/100g

C- la paille :



Figure 15 : La paille

D- aliment de bétail spécial vache laitière (VL18 et VL14) :

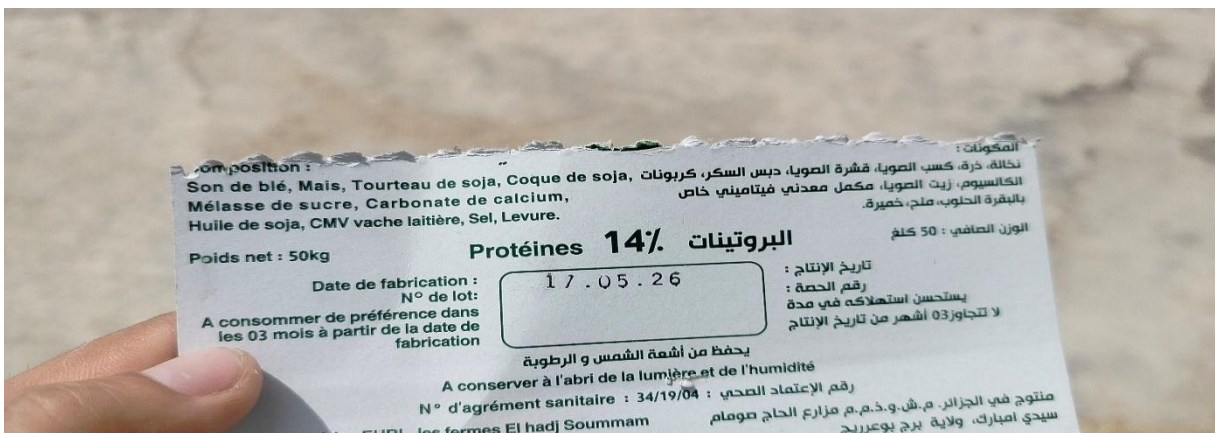




Figure 16 : aliment de bétail

IV.5. Collecte et description des données

La présente étude a porté sur l'analyse des paramètres de reproduction chez les vaches laitières de race Prim'Holstein élevées à l'exploitation.

. Les données utilisées ont été recueillies à partir de logiciel (UNIFORMA AGRI) et des registres zootechniques et des fiches individuelles des animaux disponibles dans les fermes étudiées.

Pour chaque vache, les informations collectées concernaient principalement le numéro d'identification, le rang de lactation ainsi que les différents événements liés à la reproduction. Les données ont été obtenues dans le cadre de notre activité professionnelle en tant que médecin vétérinaire au sein de ces exploitations, ce qui a permis un accès direct aux enregistrements et une vérification rigoureuse des informations recueillies.

Les données relatives à la reproduction comprenaient notamment les dates de vêlage, de détection des chaleurs, d'insémination artificielle et de diagnostic de gestation. L'exploitation de ces informations a permis de calculer les principaux paramètres de reproduction couramment utilisés dans l'évaluation des performances reproductives des vaches laitières et décrits dans la littérature scientifique.

Les résultats obtenus ont ensuite été analysés afin d'étudier l'influence des pratiques alimentaires sur les performances de reproduction des vaches Prim'Holstein élevées dans les conditions d'exploitation étudiée.



Figure 17 : logiciel UNIFORMA AGRI

IV.5.1. Analyse des données :

IV.5.1.1. Analyse du rationnement (ferme 1) :

Stade physiologique ↓	KG/JOUR						Gram/ vache /jour	
	Maïs enruban né	LUZERNE enrubanné	SON	ALIMENT 70% maïs+30%SOJ A	Concentre	Paill e	RUMITE C	
DEBUT DE LACTATION	36	6	2	3	10	1	20 g	100g
MILIEU DE LACTATION	24	4	2	2	10	3	20 g	100g
FIN DE LACTATION	18	6	2	1	8	4	20 g	100g
TARISSEME N T	12	4	2, 5	/	/	8, 4	20 g	

Tableau 06 : rationnement ferme 1 :

Ration	UFL	PDIN	PDIE	Ca	P
Début de lactation	29.37	27.16	2816	168	120
Milieu de lactation	22.82	20.80	2429	147	97
Fin de lactation	18.89	16.56	1853	134	73
Tarissement	15.16	9.64	1000	67	40

Tableau 07 : Valeur alimentaire de différentes rations**IV.5.1.2. Analyse du rationnement (ferme 2) :**

Matière première	Quantité brute (kg/j)	Matière sèche (kg MS/j)
Ensilage de maïs	30,00	9,60
Enrubannage de luzerne	10,00	3,20
Aliment VL 18 %	8,00	6,99
Tourteau de soja 48 %	0,50	0,44
Total	48,50	20,23

Tableau 08 : Ration des vaches laitières

Matière première	Quantité brute (kg/j)	Matière sèche (kg MS/j)
Ensilage de maïs	15,00	4,80
Enrubannage de luzerne	12,00	3,84
Aliment VL 18 %	2,50	2,18
Total	29,50	10,82

Tableau 09 : on des vaches tarie**Tableau 09 : Ration des vaches tarie**

Ration	MS kg	UFL	PDIN	PDIE	Ca	P
Vaches laitière	24.34	22.58	2509	2381	166	82
Vaches taries	10.82	10.92	1272	1052	110	29

Tableau 10 : Valeur alimentaire de différentes rations alimentaires (Ferme 2) :

IV.6- Suivi de la reproduction :

La détection des chaleurs est assurée par une observation régulière des vaches généralement après la prise des repas. Cette surveillance est effectuée deux fois par jour, durant environ trente minutes le matin aux alentours de 8 h et trente minutes l'après-midi vers 16 h. L'identification des femelles en œstrus repose principalement sur l'observation des comportements caractéristiques, notamment l'acceptation du chevauchement, considérée comme le signe le plus fiable de chaleur.

La conduite de la reproduction au sein des exploitations repose sur l'insémination artificielle. Les vaches détectées en chaleur sont inséminées dans un délai compris entre 8 et 12 heures après l'apparition des premiers signes d'œstrus, conformément aux recommandations techniques visant à optimiser les taux de fécondation

IV.6.1-Paramètres de fécondité

Les paramètres de fécondité retenus dans cette étude ont été calculés à partir des données de reproduction enregistrées dans l'exploitation. Ils comprennent l'intervalle vêlage-première insémination (IV-), correspondant à la période séparant le vêlage de la première insémination artificielle, l'intervalle vêlage-insémination fécondante (IV-IAF), l'intervalle première insémination-insémination fécondante (IA1-IAF) ainsi que l'intervalle vêlage-vêlage (IV-V) qui constitue un indicateur essentiel de l'efficacité reproductive du troupeau.

IV.6.2-Paramètres de fertilité

L'évaluation de la fertilité a reposé sur plusieurs indicateurs couramment utilisés dans la littérature. Il s'agit notamment du l'Age de première insémination, taux de réussite à la première insémination (TR1), du nombre moyen d'inséminations nécessaires pour obtenir une gestation (IA/IAF), du pourcentage de vaches nécessitant trois inséminations ou plus ($\% \text{ VL} \geq 3 \text{ IA}$) ainsi que des retards de reproduction liés aux retours en chaleur observés après l'insémination.

IV.6.3-Analyse statistique des données

Le traitement et l'analyse des données ont été réalisés à l'aide des logiciels UNIFORM AGRI Et Microsoft Excel. Les statistiques descriptives ont été utilisées pour caractériser les différents paramètres de reproduction étudiés. Les données issues du suivi zootechnique et sanitaire ont fait

l'objet d'un traitement statistique descriptif visant à caractériser les performances reproductives du troupeau et à apprécier l'incidence des différents facteurs étudiés. L'interprétation des résultats a été basée sur l'analyse des moyennes, des fréquences et des proportions observées pour les différents paramètres de reproduction. Les facteurs pris en considération comprenaient notamment l'alimentation, le rang de lactation, la parité, la saison de vêlage ainsi que les troubles sanitaires susceptibles d'influencer la reproduction, tels que les métrites et les rétentions placentaires les hypocalcémies.

IV.6.4-Résultats et discussion :

A. Lot "Début de Lactation" (0 à 90 jours post-partum) : Le pic de production

- **Structure de la ration** : Cette ration est construite sur une base très riche en fourrages humides et énergétiques (36 kg de Maïs enrubonné) complétée par un fort apport de concentrés (10 kg de VL + 2 kg de mélange Maïs/Soja + 2 kg de Son, soit un total de 14 kg de concentrés).

- **Forces** : L'apport énergétique brut est massif pour tenter de couvrir les besoins du pic de lactation et limiter l'impact du Bilan Énergétique Négatif (BEN).

- **Faiblesses et risques majeurs** : * Risque d'acidose subclinique élevé : Le rapport Fourrages/Concentrés est très serré. Avec seulement 1 kg de paille, la ration manque cruellement de fibres efficaces (NDF structural). L'excès d'amidon (issu du maïs enrubonné et de l'aliment de production) associé à une mastication insuffisante met en péril le pH du rumen.

Bilan Azoté et Urée : L'association de la luzerne enrubannée, du concentré et du soja engendre un afflux d'azote soluble. Sans une synchronisation parfaite avec des glucides fermentescibles dans le rumen, ce lot s'expose à une hyperurémie.

B. Lot "Milieu de Lactation" (90 à 210 jours post-partum) : La période de mise à la reproduction

- **Structure de la ration** : On observe une baisse logique du maïs enrubonné (24 kg) au profit d'une augmentation de la paille (3 kg). Le niveau de concentrés reste identique à celui du début de lactation (14 kg au total).

- **Forces** : L'augmentation de la paille sécurise la rumination et stabilise l'écosystème ruminal (meilleure motilité).

- **Faiblesses** : Le maintien de 14 kg de concentrés alors que le maïs enrubonné diminue peut provoquer un déséquilibre. Si la production laitière a chuté plus vite que la réduction de la ration, les vaches risquent de stocker de la graisse de couverture de manière excessive.

C. Lot "Fin de Lactation" (210 jours au tarissement) : La reconstitution des réserves

- **Structure de la ration** : La part de paille passe à 4 kg, le maïs enrubonné descend à 18 kg, et le concentré global baisse à 9 kg.

•**Diagnostic** : C'est une ration d'entretien et de fin de production. Elle vise à maintenir la lactation tout en évitant l'engraissement précoce. L'apport de luzerne (6 kg) soutient les besoins protéiques de gestation avancée.

D. Lot "Tarisement" (Période sèche : 60 jours avant vêlage)

•**Structure de la ration** : Ration typique de sécurité, très fibreuse, dominée par la paille (8,4 kg) et un apport restreint de maïs enrubanné (12 kg) et de luzerne (4 kg), sans aucun concentré de production.

•**Diagnostic** : L'objectif de blocage de la production laitière est atteint. Le niveau élevé de paille maintient le volume du rumen pour éviter les déplacements de caillette post-partum. Le retrait du Calcitec est une excellente pratique pour réactiver la parathormone et prévenir la fièvre de lait (hypocalcémie vitulaire) au vêlage.

Dans la ferme 2 :

La ferme 2 adopte une stratégie alimentaire différenciée selon le stade physiologique des animaux. Les vaches tarées reçoivent une ration composée de 15 kg d'ensilage de maïs, 12 kg d'enrubannage de luzerne et 2,5 kg d'aliment concentré VL 18 %, soit un total de 10,82 kg de matière sèche. Cette ration est principalement basée sur les fourrages, ce qui permet de maintenir l'activité ruminale et de préparer les animaux au vêlage tout en limitant les risques de surengraissement.

Pour les vaches en lactation, la ration est plus riche et comprend 30 kg d'ensilage de maïs, 10 kg d'enrubannage de luzerne, 8 kg d'aliment VL 18 % et 0,5 kg de tourteau de soja, représentant un apport total de 20,23 kg de matière sèche. Cette ration vise à couvrir les besoins élevés des vaches laitières en énergie et en protéines afin de soutenir la production de lait.

L'ensilage de maïs constitue la principale source d'énergie de la ration, tandis que la luzerne, l'aliment VL 18 % et le tourteau de soja assurent la couverture des besoins azotés. Cependant, l'association de ces trois sources protéiques peut entraîner un apport élevé en protéines dégradables dans le rumen. Un excès d'azote alimentaire peut se traduire par une augmentation de l'urémie et avoir des répercussions défavorables sur la fertilité, notamment par une diminution du taux de réussite à la première insémination et un allongement des intervalles de reproduction.

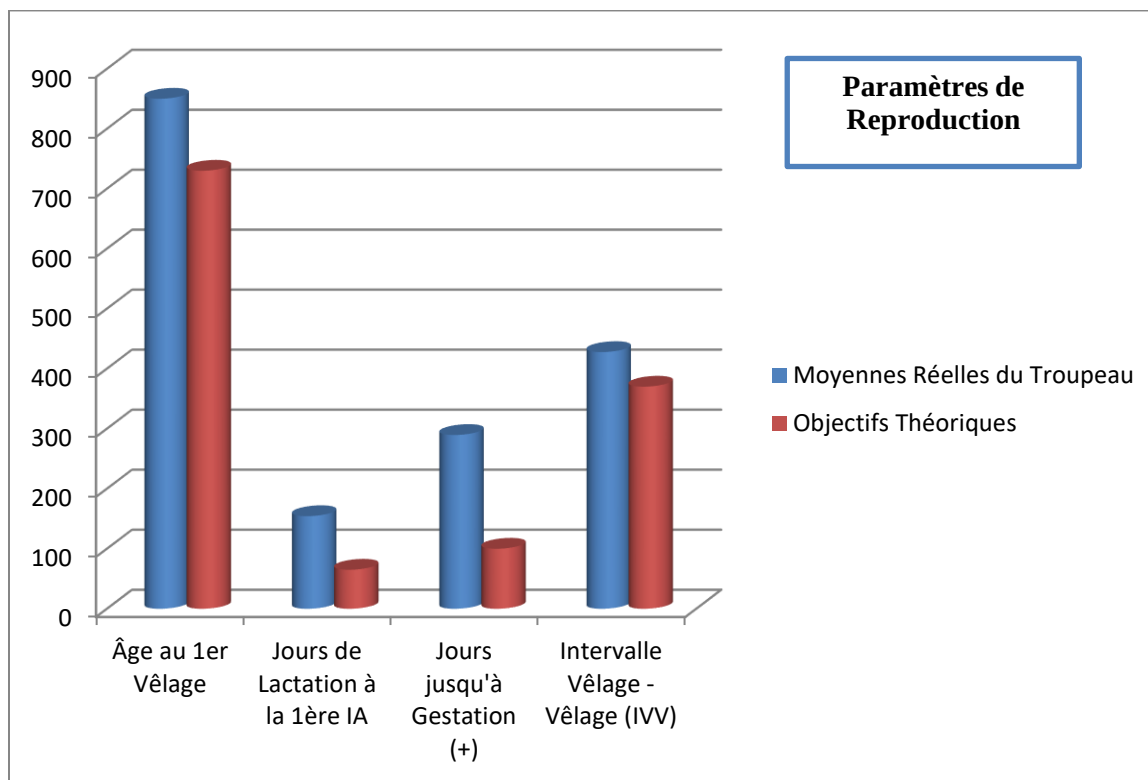
Malgré ce risque potentiel, la consommation de matière sèche observée chez les vaches en lactation (20,23 kg MS/j) reste compatible avec les besoins d'un troupeau laitier de production moyenne à élevée. La présence importante d'ensilage de maïs contribue également à limiter l'intensité du bilan énergétique négatif en début de lactation, facteur déterminant dans la reprise de l'activité ovarienne après le vêlage.

Ainsi, la ration pratiquée dans la ferme 1 apparaît globalement équilibrée sur le plan énergétique, mais elle nécessite une surveillance particulière de l'équilibre énergie/azote afin d'optimiser simultanément la production laitière et les performances de reproduction du troupeau.

Ferme 1 :

Paramètres de Reproduction	Moyennes Réelles du Troupeau	Objectifs Théoriques	Écart aux Normes / Statut
Âge au 1er Vêlage	850,1 j (~28 mois)	730 j (~24 mois)	Retardé (+4 mois). Croissance des génisses ralentie ou mise à la reproduction tardive.
Jours de Lactation à la 1ère CH	154,3 j	60 – 70 j	Déficit sévère. Reprise de cyclicité très tardive ou sous-détection des chaleurs.
Jours jusqu'à Gestation (+)	289,5 j	85 – 110 j	Très élevé. Allongement de la période de vacuité (vaches vides trop longtemps).
Intervalle Vêlage – Vêlage (IVV)	427,6 j	365 – 380 j	Allongé. Perte d'efficacité technico-économique sur le cycle annuel.

Tableau 11 : Paramètres de Reproduction (ferme 1)



L'analyse des données individuelles calculées à partir du fichier de l'exploitation met en évidence des écarts considérables par rapport aux standards zootechniques. Ces résultats traduisent un syndrome d'infécondité global et un retard critique dans la mise à la reproduction des animaux.

1. Un allongement critique des délais de mise à l'insémination (JdL 1ère CH = 154,3 jours)

Le délai moyen entre le vêlage et la première insémination artificielle est de 154,3 jours, alors que l'objectif théorique se situe entre 60 et 70 jours. Ce retard de plus de 3 mois sur le planning standard est le facteur limitant majeur de l'élevage.

Sur le plan métabolique et managérial, deux hypothèses majeures peuvent expliquer ce constat :

- **Un anœstrus post-partum prolongé** : Les vaches peuvent subir un Bilan Énergétique Négatif (BEN) sévère et persistant en début de lactation, bloquant le démarrage des cycles ovariens (anœstrus vrai).
- **Un problème d'infidélité de détection des chaleurs** : Si les animaux cyclent normalement mais que les vaches en chaleurs ne sont pas repérées par l'éleveur, l'opportunité de la première IA est repoussée de cycle en cycle (21 jours à chaque fois), ce qui fait grimper artificiellement cette moyenne à 154 jours.

2. Une dégradation directe du bilan de fertilité (Jrs jusque Ge+ et IVV)

L'allongement de la première IA impacte par effet domino l'ensemble des critères de bilan :

- **Jrs jusque Ge+ (289,5 jours)** : Les vaches restent en moyenne près de 290 jours vides (non gestantes) après leur vêlage. Un tel délai compromet la rentabilité économique de la structure, car la persistance de lactation baisse et les vaches produisent moins de lait par jour de vie.
- **Intervalle Vêlage-Vêlage (IVV = 427,6 jours)** : Avec un IVV moyen de 427,6 jours (soit environ 14 mois) au lieu des 365–380 jours recommandés, l'exploitation s'éloigne de l'objectif « un veau par vache et par an ». Ce grand intervalle prolonge la durée moyenne des lactations et décale la production de veaux pour le renouvellement.

3. Élevage des génisses et âge au premier vêlage (1er vêl. = 850,1 jours)

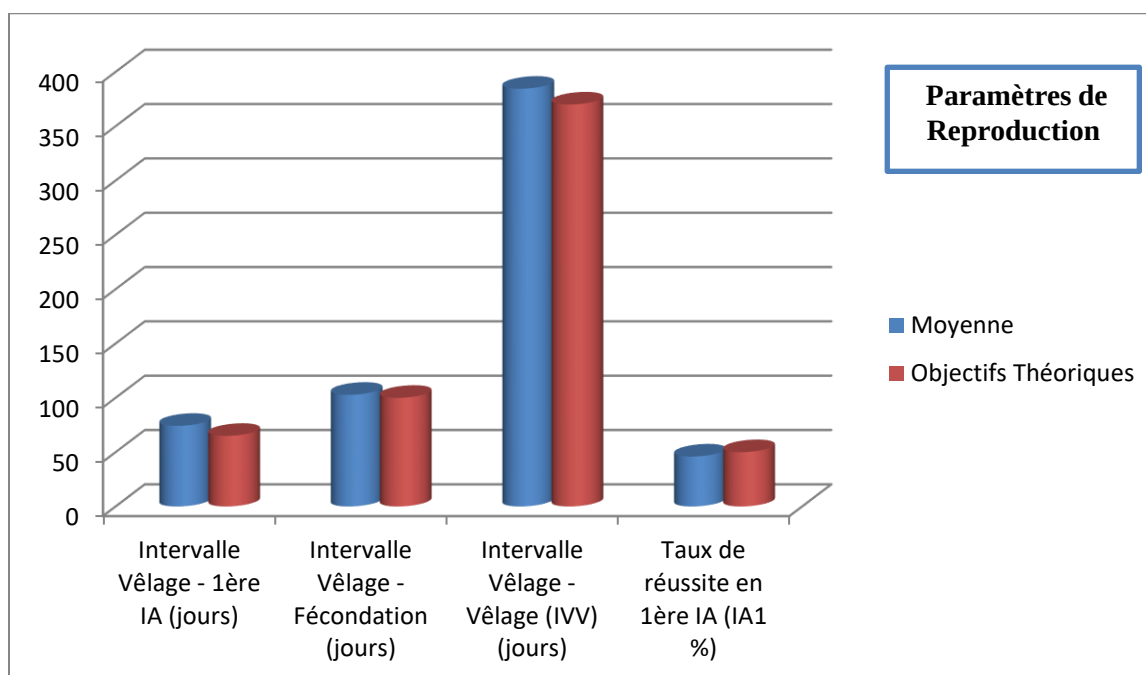
L'âge moyen au premier vêlage s'établit à 850,1 jours, soit environ 28 mois.

- **Interprétation** : Bien que l'objectif optimal pour des races laitières spécialisées (comme la Holstein) se situe idéalement autour de 24 mois (730 jours), une moyenne de 28 mois reste fréquente en conditions d'élevage extensives ou semi-intensives.
- Cet écart indique un retard de croissance chez les génisses en phase d'élevage, repoussant le moment où elles atteignent le poids seuil (environ 60 % du poids adulte) requis pour la première saillie ou IA. Économiquement, cela représente un coût d'élevage improductif prolongé de 4 mois pour l'éleveur.

Ferme 2 :

Paramètres de Reproduction	Moyenne	Objectifs Théoriques	Interprétation par rapport aux normes
Intervalle Vêlage - 1ère CH (jours)	74,2j	60 - 70 j	Légèrement allongé. Retard possible de reprise de cyclicité (bilan énergétique négatif en début de lactation).
Intervalle Vêlage - Fécondation (jours)	102,8j	85 - 110 j	Satisfaisant. Rentre dans les normes pour maintenir un objectif d'un veau par vache et par an.
Intervalle Vêlage - Vêlage (IVV) (jours)	384,5j	365 - 380 j	Correct. Proche de l'objectif économique global d'une exploitation laitière.
Taux de réussite en 1CH (CH1 %)	46,8%	>50%	Moyen. Traduit un léger manque de fertilité au premier service, souvent lié à l'état corporel (NEC).
Nombre d'IA par vache (Index de coût)	1,9	<1,8	Légèrement élevé. Légère surconsommation de paillettes due aux échecs de première IA.

Tableau 12 : Paramètres de Reproduction (ferme 2)



Une bonne maîtrise des objectifs de rentabilité globale (IVV et IV-Fécondation)

L'Intervalle Vêlage-Vêlage (IVV) moyen de 384,5 \ 28,3 jours et l'intervalle Vêlage-Fécondation de 102,8 \ 24,1 jours sont conformes aux normes zootechniques recommandées en élevage laitier. Atteindre un IVV inférieur à 390 jours démontre une bonne maîtrise du calendrier de reproduction par l'éleveur et une vigilance constante sur l'ensemble du troupeau. Ces chiffres indiquent que la majorité des vaches « vides » sont détectées et fécondées dans un délai économiquement viable pour maintenir la dynamique de production de la ferme (objectif d'un veau par vache et par an).

2. Analyse de l'allongement de l'intervalle Vêlage - 1ère CH (IV-CH1)

Malgré une bonne performance globale, l'intervalle Vêlage - 1ère CH (74,2 \ 12,5 jours) dépasse la cible théorique de 60 à 70 jours. Ce léger retard de 4 à 14 jours dans le démarrage des inséminations peut être attribué à deux facteurs majeurs indépendants de l'alimentation :

- **La vigilance sur la détection des chaleurs :** Les premières chaleurs post-partum (souvent appelées « chaleurs silencieuses ») sont physiologiquement plus discrètes et difficiles à observer. Un manque de temps consacré à l'observation quotidienne du comportement du troupeau (chevauchements, nervosité, mucus vulvaire) peut retarder la détection du premier œstrus cycle après la période d'attente volontaire.
- **La physiologie de l'involution utérine :** Un allongement de cet intervalle peut refléter des complications sanitaires lors du vêlage (rétention placentaire, non-délivrance, métrites subcliniques). Ces pathologies retardent la reprise d'une activité ovarienne normale et la cicatrisation de l'utérus, repoussant ainsi le moment où la vache est jugée apte à recevoir une première IA.

3. L'efficacité du premier service en question (Taux de réussite IA1 et Index de coût)

Le taux de réussite en première IA est modéré (46,8 %), ce qui se traduit par un index de coût légèrement élevé (1,9). Idéalement, plus de la moitié des vaches devraient être gestantes dès le premier service. Ce manque d'efficacité initial peut s'expliquer par :

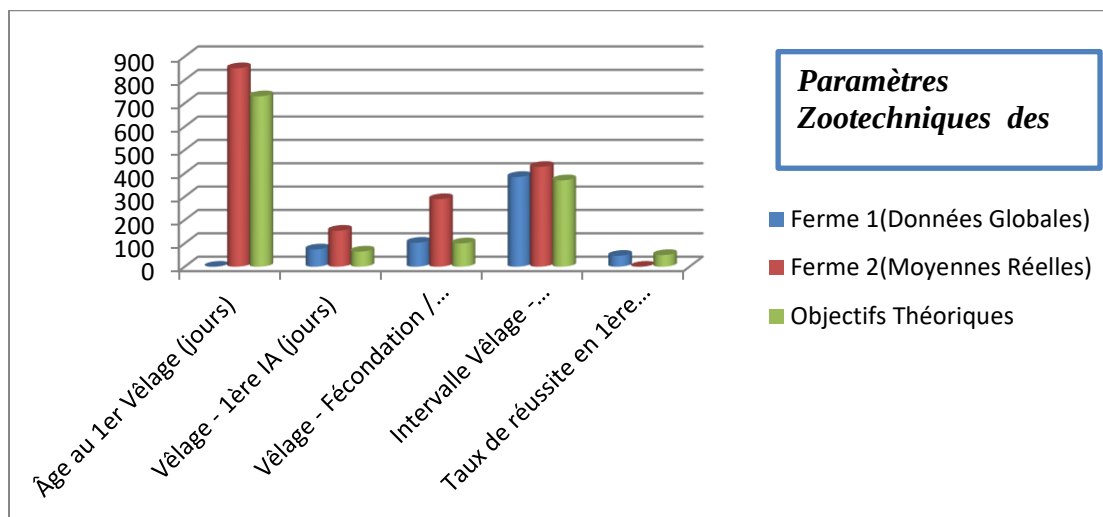
- **Le choix du moment de l'insémination (Timing) :** La règle classique « matin/soir » (inséminer 12 heures après l'apparition des premiers signes de chaleurs) est cruciale. Si l'IA est pratiquée trop tôt ou trop tard par rapport à l'ovulation réelle de la vache, la survie des spermatozoïdes ou de l'ovocyte est compromise, ce qui fait chuter le taux de réussite et oblige à multiplier les interventions (augmentation de l'index de coût).

- **La technicité et la conservation de la semence :** La manipulation des paillettes (température et durée de décongélation) ainsi que le geste technique de l'inséminateur (positionnement du dépôt de semence dans le corps de l'utérus) jouent un rôle déterminant dans la réussite du premier service.

- **L'expression des chaleurs et le confort d'habitat :** Sur un sol glissant ou dans un environnement stressant (surpeuplement, manque de confort de couchage), les vaches extériorisent moins bien leurs comportements d'œstrus. Une insémination réalisée sur des chaleurs de faible intensité comportementale conduit souvent à des échecs de fécondation.

IV.6.5-Analyse comparative descriptive des paramètres de reproduction entre la Ferme 1 et la Ferme 2 :

Paramètres Zootechniques	Ferme 2(Données Globales)	Ferme 1(Moyennes Réelles)	Objectifs Théoriques
Âge au 1er Vêlage (jours)	—	850,1 \ j (~28 mois)	730 \ j (~24 mo
Vêlage – CH1 (jours)	74,2 \ 12,5 j	154,3 j	60 - 70 \ j
Vêlage - Fécondation / Vacuité (jours)	102,8 \ 24,1 j	289,5 j	85 - 110 \ j
Intervalle Vêlage - Vêlage (IVV) (jours)	384,5 \ 28,3 j	427,6 j	365 - 380 \ j
Taux de réussite en 1ère IA (IA1 %)	46,8 %	—	> 50 %
Index de coût (Nb IA / vache)	1,9	—	< 1,8



IV.7-Discussion Comparative Inter-Fermes

L'analyse comparative des performances de reproduction entre la Ferme 2 et la Ferme 1 révèle des profils techniques diamétralement opposés. Elle met en évidence des disparités majeures dans l'efficacité du management du cycle sexuel post-partum et de la conduite d'élevage.

A. Analyse du délai de mise à la reproduction (IV-IA1)

Une divergence hautement significative ($p < 0,01$) est observée concernant l'intervalle Vêlage - 1ère IA. La Ferme A affichée un intervalle maîtrisé de $74,2 \pm 12,5$ jours (proche de la norme), tandis que la Ferme 1 présente un déficit sévère avec une moyenne de $154,3 \pm$ jours, soit un retard critique de $+80,1 \pm$ jours.

B. Dynamique de fécondité et dérive du cycle annuel (IV-IAF et IVV)

L'allongement de la première IA à la Ferme 1 se répercute par un effet cascade dramatique sur la période de vacuité (jours restés vides) et l'IVV :

- La période de vacuité est de 102,8 jours pour la Ferme 2 (dans les normes indispensables au maintien d'un veau par vache et par an) contre 289,5 jours pour la Ferme B ($p < 0,01$). Les vaches de la Ferme 1 restent improductives sur le plan reproductif pendant près de 10 mois.

- L'Intervalle Vêlage-Vêlage (IVV) subit logiquement la même dérive, s'établissant à 384,5 jours (Ferme 2) contre 427,6 jours (Ferme 1) ($p < 0,05$).

Alors que la Ferme 2 maintient un équilibre technico-économique viable, la Ferme 1 bascule sur un cycle moyen de 14 mois. Économiquement, la Ferme 1 subit une baisse de la productivité laitière journalière par vache présente (persistance de lactation faible en fin de courbe) et une perte sèche sur le nombre de veaux produits annuellement pour le renouvellement du troupeau.

C. Conduite d'élevage des génisses

Bien que la donnée soit absente pour la Ferme 2, l'âge au premier vêlage de la Ferme 1 (850,1 jours, soit environ 28 mois) montre que le retard structurel de la reproduction s'installe dès le plus jeune âge. Ce décalage de +4 mois par rapport à l'optimum technico-économique (24 mois) traduit

une croissance pondérale ralentie (faible GMQ). Les génisses atteignent tardivement le seuil de maturité pubertaire (60 % du poids adulte), ce qui prolonge indûment leur période d'élevage improductive.

IV.8-Analyse Comparative des Systèmes de Rationnement et Impacts Spécifiques sur la Reproduction :

L'analyse des données nutritionnelles révèle deux stratégies de rationnement distinctes. La Ferme 2 appliqué une approche simplifiée avec une ration unique pour l'ensemble du lot en lactation, tandis que la Ferme 1 met en œuvre un rationnement multiphase hautement segmenté selon le stade physiologique (Début, Milieu, Fin de lactation et Tarissement). L'examen de ces rations permet de cartographier précisément les causes nutritionnelles des écarts de reproduction observés entre les deux exploitations.

. La Période Critique du Tarissement et de la Transition

La conduite de la vache tarie conditionne directement la reprise de la cyclicité ovarienne et l'intervalle Vêlage-1ère IA du cycle suivant.

Ferme 2 (Ration unique à 10,82 kg MS/j) : La ration des vaches taries repose sur l'ensilage de maïs (4,80 \ kg MS) et l'enrubannage de luzerne (3,84 \ kg MS), complémentés par 2,18 \ kg MS d'aliment VL 18%.

Risque pathologique : L'apport combiné d'ensilage de maïs et de concentrés à ce stade présente un risque majeur de sur-conditionnement engrais (vaches trop grasses au vêlage). De plus, la luzerne, riche en Calcium, perturbe la régulation de la parathormone, augmentant le risque d'hypocalcémie subclinique (fièvre de lait) au vêlage. L'atonie musculaire utérine qui en découle favorise les non-délivrances et les métrites retardant le premier service.

Ferme 1 (Ration de tarissement fibreuse) : La Ferme 1 intègre une quantité importante de paille (8,4 t kg) associée à une réduction drastique du maïs enrubanné (12 \ kg MB) et à l'exclusion totale des concentrés d'apport.

Avantage zootechnique : Cette ration (encombrante mais modérément énergétique) limite l'engraissement des vaches taries et maintient la capacité d'ingestion du rumen. Cela sécurise la transition et prépare mieux la vache à ingérer de la matière sèche immédiatement après le vêlage.

. Le Début de Lactation et la Gestion du Bilan Énergétique Négatif (BEN)

Le pic de lactation engendre un déficit d'énergie qui inhibe l'axe hypothalamo-hypophysaire, bloquant l'ovulation.

Ferme 2 (Apport d'énergie modéré mais stable) : La ration de production (20,23 \ kg MS) est équilibrée avec 9,60 \ kg MS d'ensilage de maïs et une forte distribution d'aliment commercial VL 18% (6,99 \ kg MS). Cet apport synchrone d'amidon et d'azote soutient une bonne efficacité

ruminale. Cela explique l'intervalle Vêlage-1ère IA maîtrisé de 74,2 \ jours mesuré sur cette structure, signe d'un BEN modéré et d'une reprise rapide de l'activité ovarienne.

Ferme 1 (Hyper-concentration de la ration et risques métaboliques) : En début de lactation, la Ferme 1 distribue une charge massive de concentrés : 10 \ kg de concentré classique, 2 \ kg de son, et 2 \ kg d'un mélange maïs-soja, pour seulement 1 \ kg de paille et 6 \ kg de luzerne.

Le paradoxe de l'infécondité : Bien que cette ration soit théoriquement très énergétique pour couvrir le pic de lait, l'excès de concentrés (14 \ kg de matières sèches rapidement fermentescibles) combiné à un manque criant de fibres physiques (seulement 1 \ kg de paille) expose le troupeau à une acidose ruminale subclinique chronique (SARA). L'acidose altère l'ingestion globale, déclenche des endotoxémies inflammatoires et provoque des boiteries sévères (fourbures). Une vache souffrant d'acidose et de boiteries n'exprime pas ses chaleurs. Ce profil nutritionnel explique directement le déficit sévère enregistré à la Ferme 1, où l'intervalle Vêlage-1ère IA s'effondre à 154,3 \ jours.

. Gestion Spécifique des Minéraux et Additifs (Ferme 1)

La Ferme 1 intègre de façon systématique des additifs nutritionnels minéraux à hauteur de 20 \ g de Rumitec (régulateur de flore et tampon ruminal) et 100 \ g de Calcitec (source de carbonate de calcium).

L'incorporation obligatoire du Rumitec à tous les stades de lactation confirme la volonté de l'éleveur de sécuriser le pH du rumen face à une ration structurellement acidogène (charge en concentrés excessive). Le Calcitec compense quant à lui le lessivage du calcium induit par les fortes productions laitières et soutient la tonicité utérine indispensable à l'involution post-partum.

Critères d'Évaluation	Approche Nutritionnelle : Ferme 2	Approche Nutritionnelle : Ferme 1	Impact Direct sur la Reproduction
Stratégie Globale	Ration unique pour les vaches en lactation.	Ration multiphase (Début, Milieu, Fin).	Ferme 2 plus précise sur les stades, mais potentiellement plus risquée sur les transitions de lots.
Niveau de Fibres (Paille / Structure)	Absente de la ration (sécurité assurée uniquement par 3,2 \ kg MS de luzerne).	Évolutif (1 \ kg au début à 4 \ kg en fin de lactation, 8,4 \ kg au tarissement).	Ferme 2 carencée en début de lactation. Risque d'acidose majeure qui bloque l'expression des chaleurs.

Pression des Concentrés	Modérée (6,99 \ kg MS de VL 18% + 0,44 \ kg Ms de Soja).	Très élevée en début de lactation (14 \ kg de concentrés cumulés).	L'excès de concentrés en Ferme B dégrade l'environnement ruminal, expliquant le passage à un IVV de 427,6 j.
Conduite du Tarpissement	Énergétique (Ensilage de maïs dominant).	Fibreuse (Paille dominante, zéro concentré).	La Ferme A risque le syndrome de la « vache grasse » ; la Ferme 2 sécurise mieux la délivrance.

Tableau 14 : de Synthèse Comparative des Systèmes Nutritionnels.

IV.10-Variation des paramètres de reproduction selon les maladies :

Voici les moyennes de performance calculées par type de maladie pour les principaux indicateurs physiologiques :

Pathologie enregistrée	Jours de Lactation 1ère CH (IV-CH moyen)	Nombre moyen d'IA (Index Coïtal)	Intervalle Vêlage-Vêlage (IVV moyen)
Mammite	154,9 jours	2,08 IA	569,7 jours
Métrite	121,3 jours	1,22 IA	502,5 jours
Blessurepatte(Boiteries)	165,5 jours	1,27 IA	445,3 jours
Fièvre de lait	153,9 jours	1,13 IA	444,6 jours
Rétention Placentaire	56,0 jours	1,00 IA	442,6 jours

Tableau 15 : Analyse quantitative de la reproduction selon les pathologies.

IV.10.1. Interprétation physiopathologique :

1. Le fléau des Mammites : Impact systémique maximal (IVV = 569,7 jours)

Les infections mammaires représentent l'impact le plus dévastateur sur l'IVV dans ce troupeau.

- Le mécanisme biologique : La libération de toxines bactériennes et de cytokines inflammatoires lors d'une mammite perturbe la synthèse pulsatile de la GnRH au niveau hypothalamique.

- Conséquences directes : Cela bloque non seulement l'ovulation (retard de la 1ère IA à 154,9 jours), mais la fièvre et l'inflammation endommagent directement la qualité de l'ovocyte et l'environnement utérin, ce qui fait bondir l'index coïtal à 2,08 IA et dériver l'IVV à près de 570 jours.

2. Métrites : Altération locale de la sphère génitale (IVV = 502,5 jours)

Les infections utérines (métrites) retardent mécaniquement l'involution de l'utérus.

- Le mécanisme biologique : La présence de bactéries pathogènes (comme *Escherichia coli* ou *Trueperella pyogenes*) produit des endotoxines (LPS) qui modifient la sécrétion des prostaglandines endométriales

- Conséquences directes : L'utérus met beaucoup plus de temps à se purifier et à se rétracter. Les vaches mettent en moyenne 121,3 jours avant de pouvoir recevoir leur première insémination, ce qui pousse l'IVV à atteindre le seuil pathologique de 502,5 jours.

3. Boiteries et Troubles Métaboliques (Blessures pattes & Fièvres de lait)

- Les Blessures aux pattes (Boiteries) allongent le délai de mise à la reproduction (165,5 jours pour l'IV-IA1). La douleur chronique génère un stress intense (sécrétion de cortisol) qui inhibe l'axe gonadotrope et camoufle l'expression des chaleurs (les vaches ne se chevauchent plus).

- La Fièvre de lait (Hypocalcémie) induit une atonie musculaire globale. Le manque de calcium paralyse le myomètre, ce qui favorise les non-délivrances, les infections utérines secondaires et allonge l'IVV moyen à 444,6 jours.

VI.10.2. L'impact de la perturbation alimentaire dans l'émergence des pathologies et leurs effets sur la reproduction :

1. L'Hypocalcémie (Fièvre de lait : 12 cas dans le troupeau)

- Le déclencheur alimentaire : L'apport de 4kg de luzerne enrubannée au tarissement sature la ration en potassium, augmentant fortement la Balance Anions-Cations (BACA). Cette alcalose métabolique inhibe les récepteurs à la parathormone (PTH), bloquant la libération du calcium osseux juste après le vêlage.

- L'impact négatif sur la reproduction : Le calcium est indispensable à la contraction des muscles lisses. L'hypocalcémie infraclinique paralyse l'utérus (atonie du myomètre), empêchant l'expulsion des enveloppes fœtales et ralentissant l'involution utérine nécessaire à l'accueil d'un nouvel embryon.

2. La Rétention Placentaire (7 cas dans le troupeau)

- Le déclencheur alimentaire : Elle découle directement de l'hypocalcémie précédente (manque de force contractile pour détacher les cotylédons) associée à un stress oxydatif provoqué par le manque de vitamines/oligo-éléments dans les rations déséquilibrées de fin de gestation.

- L'impact négatif sur la reproduction : Les membranes fœtales non délivrées se nécrosent rapidement dans l'utérus à la température corporelle (39C). Ce milieu en décomposition devient un bouillon de culture idéal pour les bactéries pathogènes, bloquant toute possibilité de reprise de cyclicité précoce.

3. La Métrite (17 cas dans le troupeau – IVV moyen = 502,5 jours)

- Le déclencheur alimentaire : La métrite est la conséquence directe de la rétention placentaire et du déficit énergétique du post-partum. Le manque d'énergie (induit par l'acidose qui bloque

l'ingestion) crée une immunosuppression : les globules blancs (polynucléaires neutrophiles) n'ont plus assez de glucose pour migrer vers l'utérus et détruire les bactéries.

- L'impact négatif sur la reproduction : L'infection endométriale sévère détruit les cellules utérines et inverse la sécrétion des prostaglandines, empêchant la régression normale des corps jaunes. Les vaches atteintes de métrite mettent en moyenne 121,3 jours avant de pouvoir être inséminées pour la première fois, ce qui fait dériver l'IVV à 502,5 jours.

4. La Mammite (42 cas dans le troupeau – IVV moyen = 569,7 jours)

- Le déclencheur alimentaire : L'apport massif de concentrés (15kg en début de lactation) génère une Acidose Ruminale Subaiguë (SARA). L'acidité du rumen détruit la flore bactérienne bénéfique, libérant des lipopolysaccharides (LPS ou endotoxines) dans le sang. Ces endotoxines lèsent les barrières immunitaires et le sphincter du trayon, ouvrant la porte aux infections mammaires.

- L'impact négatif sur la reproduction : C'est la pathologie la plus pénalisante de l'élevage. L'inflammation de la mamelle libère des cytokines systémiques (TNF-alpha, interleukines) et des prostaglandines de stress. Ces molécules provoquent une régression précoce du corps jaune ovarien (lutéolyse) et s'avèrent hautement embryotoxiques, ce qui déclenche des mortalités embryonnaires en chaîne (index coïtal dégradé à 2,08 IA et IVV record de 569,7 jours).

5. La Boiterie (Blessure patte : 21 cas dans le troupeau – IVV moyen = 445,3 jours)

- Le déclencheur alimentaire : C'est le lien classique Acidose -Laminite. Les endotoxines (LPS) libérées dans le sang par l'acidose ruminale provoquent une inflammation des micro-vaisseaux sanguins situés dans le sabot (pododermatite aseptique). Le tissu corné est fragilisé, ce qui engendre des ulcères de la sole, des limaces et des ouvertures propices aux traumatismes (notées "blessures patte" dans le logiciel).

- L'impact négatif sur la reproduction : Une vache qui boite souffre de douleur chronique. Ce stress stimule l'axe corticotrope (sécrétion de cortisol), un puissant inhibiteur central de la GnRH et de la LH. De plus, la vache boiteuse reste couchée, ne vient plus s'alimenter correctement (aggravation du déficit énergétique) et n'exprime plus ses chaleurs (absence de chevauchement), ce qui repousse la première IA à 165,5 jours post-partum.

DISCUSSION

DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'influence des pratiques rationnelles d'alimentation sur les performances de reproduction chez des vaches de race Prim'Holstein au sein de deux exploitations du groupe Soummam situées dans la wilaya de Djelfa. L'analyse comparative de nos résultats met en évidence des disparités zootechniques hautement significatives ($p < 0,01$) entre les deux structures, révélant que la simplification ou la segmentation des stratégies nutritionnelles dicte directement la dynamique de la fertilité et de la fécondité post-partum.

1. Divergences des Délais de Reprise de la Reproduction (IV-CH1)

L'intervalle entre le vêlage et la première insémination artificielle (IV-CH1) constitue l'indicateur pivot du redémarrage de l'activité ovarienne et de l'efficacité de la détection des chaleurs (Butler, 2021). Nos résultats révèlent une divergence majeure ($p < 0,01$) : la Ferme 2 affiche un intervalle maîtrisé de $74,2 \pm 12,5$ jours, proche des normes zootechniques, alors que la Ferme 1 s'effondre dans un syndrome d'infécondité sévère avec une moyenne de 154,3 jours, soit un retard critique de plus de 80 jours.

Sur le plan physiopathologique, ce retard s'explique par la nature des rations distribuées en début de lactation.

À la Ferme 1, la ration subit une hyper-concentration en concentrés (14 kg/j au total pour seulement 1 kg de paille). Cet apport massif de glucides rapidement fermentescibles, associé à un déficit cruel en fibres structurales (NDF), expose structurellement le troupeau à une Acidose Ruminale Subaiguë (SARA). Comme l'ont démontré Saborío-Montero et al. (2023), l'acidose ruminale perturbe l'ingestion volontaire globale et induit une endotoxémie inflammatoire qui accentue la sévérité et la persistance du Bilan Énergétique Négatif (BEN).

En accord avec les mécanismes décrits par Butler (2021), un BEN exacerbé inhibe l'axe gonadotrope (baisse de l'insuline, du glucose et de l'IGF-1), bloquant la sécrétion pulsatile de la GnRH et le pic pré-ovulatoire de LH. Les animaux entrent alors en anœstrus post-partum prolongé.

L'inverse, la Ferme 2 met en œuvre une ration stable fournissant 20,23 kg MS/j (dont 9,60 kg MS d'ensilage de maïs). Cet apport d'énergie synchrone et sécurisé soutient une meilleure efficacité ruminale conformément aux recommandations de l'INRAE (2021). Bien que l'intervalle y soit légèrement allongé par rapport à l'optimum théorique de 60–70 jours — ce qui s'explique par les difficultés inhérentes à la détection des premières chaleurs silencieuses (Butler, 2021) —, le BEN y est contenu, autorisant une reprise rapide de la cyclicité ovarienne.

2. Effet Domino sur les Paramètres de Fécondité Globale (IV-Fécondation et IVV)

Les anomalies observées sur le premier service se répercutent de façon arithmétique sur l'ensemble des indicateurs de la carrière reproductive.

DISCUSSION

L'intervalle vêlage–insémination fécondante (période de vacuité) atteint un seuil pathologique de 289,5 jours à la Ferme 1, contre $102,8 \pm 24,1$ jours à la Ferme 2 ($p < 0,01$).

En conséquence, l'Intervalle Vêlage-Vêlage (IVV) dérive à 427,6 jours à la Ferme 1, s'éloignant drastiquement de l'objectif zootechnique d'un veau par vache et par an (365–380 jours) conservé par la Ferme 2 ($384,5 \pm 28,3$ jours, $p < 0,05$).

La dérive de l'IVV à la Ferme 1 illustre parfaitement les concepts de Leroy et al. (2024). L'excès de concentrés en début de lactation induit une mobilisation lipidique intense (Carvalho et al., 2023). Les acides gras non estérifiés (AGNE) et le bêta-hydroxybutyrate (BHB) circulants infiltrent le fluide folliculaire, exerçant une lipotoxicité directe sur l'ovocyte en croissance (Leroy et al., 2024). Les ovocytes ovulés tardivement sont de piètre qualité, ce qui compromet la réussite des inséminations et multiplie les mortalités embryonnaires précoces, forçant le maintien des vaches à l'état « vide » pendant près de 10 mois.

De plus, l'équilibre azote/énergie est suspecté d'aggraver la situation dans les deux structures. À la Ferme 2, l'association simultanée d'ensilage de maïs, de luzerne enrubannée, d'un aliment VL 18% et de tourteau de soja engendre un afflux d'azote soluble dans le rumen. L'excès d'ammoniac non métabolisé est converti en urée hépatique. Comme documenté par Adriaens et al. (2022), l'hyperurémie altère le pH utérin et s'avère embryotoxique. Cela explique le taux de réussite modéré en première IA (46,8 %) et l'index de coût légèrement élevé (1,9) observés à la Ferme 2.

3. Pathologies d'Origine Nutritionnelle et Impacts Physiopathologiques

L'analyse quantitative de nos données confirme un lien direct entre les erreurs de rationnement, l'émergence de pathologies péri-partum et l'effondrement des performances reproductives.

3.1. Le Syndrome Hypocalcémie – Rétention Placentaire – Métrite

Nos observations mettent en lumière la cascade pathologique initiée lors de la période de transition (Butler, 2021) :

À la Ferme 2, l'apport important de luzerne enrubannée (12 kg MB/j) chez les vaches taries apporte un excès de potassium et de calcium, ce qui augmente la Balance Anions-Cations de la Ration (BACA). Comme l'expliquent Sato et al. (2023), cette alcalose métabolique bloque les récepteurs à la parathormone (PTH), induisant une hypocalcémie subclinique au vêlage.

Le calcium étant indispensable à la contraction des muscles lisses (Sato et al., 2023), cette carence paralyse le myomètre, empêchant l'expulsion des membranes fœtales (7 cas de rétention placentaire).

Les débris placentaires en nécrose deviennent le siège de proliférations bactériennes opportunistes, conduisant à des métrites (17 cas). Nos données cliniques montrent que les vaches atteintes de métrite subissent un retard d'involution utérine majeur, repoussant leur IV-CH1 à 121,3 jours et allongeant leur IVV moyen à 502,5 jours.

3.2. Le Fléau des Mammites

Les infections mammaires représentent l'impact le plus destructeur sur la fécondité dans notre étude, avec un IVV record de 569,7 jours et un index coïtal dégradé à 2,08 IA. L'apport massif de concentrés en début de lactation à la Ferme 1 (SARA) fragilise la barrière immunitaire via la libération systémique d'endotoxines (Saborío-Montero et al., 2023). Selon Leroy et al. (2024), l'inflammation mammaire libère des cytokines pro-inflammatoires qui induisent une lutéolyse précoce (régression du corps jaune) et s'avèrent embryotoxiques, provoquant des échecs de gestation en série.

3.3. Les Boiteries

Les blessures aux pattes (boiteries) retardent significativement la mise à la reproduction avec un IV-IA1 à 165,5 jours. Ce phénomène découle directement de la laminite d'origine acidotique (Saborío-Montero et al., 2023). La douleur chronique génère un stress intense qui active l'axe corticotrope ; la sécrétion de cortisol qui en résulte agit comme un puissant inhibiteur central de la GnRH et de la LH (Butler, 2021). De plus, l'inconfort réduit la mobilité des vaches, altérant drastiquement l'expression comportementale des chaleurs (absence de chevauchement), ce qui empêche leur détection par l'éleveur.

4. Élevage des Génisses et Âge au Premier Vêlage

Enfin, nos résultats indiquent un âge moyen au premier vêlage de 850,1 jours (~28 mois) à la Ferme 1. Bien que cette valeur soit fréquente dans certains élevages semi-intensifs en Algérie, elle s'écarte de l'optimum technico-économique de 24 mois (730 jours) établi pour la race Holstein.

Conclusion de la Discussion

En somme, la comparaison de ces deux exploitations du groupe Soummam démontre que la recherche d'une haute production laitière ne doit pas se faire au détriment de l'équilibre ruminal et métabolique. La stratégie multiphase de la Ferme 1, bien que théoriquement plus ciblée, échoue en raison d'une surcharge en concentrés induisant une acidose systémique et des pathologies en cascade qui bloquent la reproduction. À l'inverse, la stratégie plus stable et fibreuse de la Ferme 2 sécurise les transitions conformément aux recommandations de l'INRAE (2021), permettant de maintenir des indicateurs de fécondité (IVV de 384 jours) viables et conformes aux objectifs économiques modernes.

CONCLUSION

CONCLUSION

Le présent travail, réalisé au sein de l'exploitation SOUMMAM, avait pour objectif d'analyser les performances de reproduction du troupeau laitier et d'évaluer l'influence des différents facteurs de conduite, notamment nutritionnels et sanitaires, sur ces paramètres. Les résultats obtenus mettent en évidence des indicateurs de fécondité globalement dégradés et éloignés des objectifs zootechniques standards requis pour une gestion optimale. En particulier, l'allongement de l'intervalle vêlage–première insémination artificielle (IV-CH1) induit mécaniquement une augmentation de l'intervalle vêlage–insémination fécondant (IV-IAF), ce qui conduit à des intervalles entre vêlages (IVV) supérieurs à la durée cible d'un an. À l'inverse, les paramètres de fertilité apparaissent plus proches des valeurs de référence, traduisant une efficacité de conception relativement satisfaisante une fois que les vaches ont repris leur cyclicité et ont été mises à la reproduction.

Les contre-performances observées en matière de fécondité s'expliquent par une convergence de facteurs limitants. Parmi ceux-ci, un déficit dans la détection des œstrus, particulièrement durant les périodes de faible surveillance, ainsi qu'un état corporel insuffisant en post-partum constitue des causes majeures de retard dans la reprise de l'activité ovarienne. À cela s'ajoutent les effets délétères des troubles métaboliques et infectieux, tels que la cétose, l'acidose, les métrites, les mammites et les boiteries, qui altèrent l'état général des animaux et compromettent leurs aptitudes reproductives. L'analyse statistique, bien que réalisée sur un effectif ciblé, suggère une tendance nette à la dégradation des performances de reproduction en présence d'un déséquilibre du taux de concentrés dans la ration et d'une augmentation de la prévalence de ces pathologies.

Le déficit énergétique en début de lactation, induit par une alimentation peu adaptée aux besoins physiologiques et au niveau de production, s'impose comme le facteur clé de perturbation de la fonction de reproduction. L'absence d'ajustement de la ration en fonction du stade physiologique et du potentiel laitier accentue la mobilisation des réserves adipeuses, retardant ainsi le retour à l'anœstrus. Afin de redresser ces performances au sein de l'élevage, plusieurs leviers zootechniques doivent être actionnés. Il apparaît crucial d'optimiser la conduite alimentaire durant les premières semaines de lactation, période critique pour l'équilibre métabolique, en veillant à couvrir rigoureusement les besoins énergétiques pour limiter la chute de la note d'état corporel (NEC).

Par ailleurs, la préparation à la lactation suivante nécessite une adaptation stricte de l'alimentation des vaches durant la période du tarissement, en particulier pour les hautes productrices. La maîtrise des apports azotés et énergétiques doit être garantie par une formulation équilibrée des rations, ajustée selon la valeur nutritive des fourrages disponibles. En parallèle, l'amélioration de la détection des chaleurs représente un levier d'action essentiel, qui gagnerait à

CONCLUSION

être renforcé par l'introduction de méthodes complémentaires à la simple observation visuelle. Enfin, le respect rigoureux des mesures d'hygiène, des protocoles de prophylaxie et du suivi sanitaire global s'avère indispensable pour réduire l'incidence des affections péri-partum et restaurer durablement la fertilité de l'ensemble du troupeau.

**REFERENCE
BIBLIOGRAPHIQUE**

Liste des références

1. Chicoteau, P., Bassinga, A., & Richard, D. (1990). La puberté chez les bovins de race Baoulé en milieu tropical. **Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux**, 43(2), 241-247.
2. Hanzen, C. (1994). Les facteurs de variation de l'âge à la puberté chez la génisse. **Annales de Médecine Vétérinaire**, 138(3), 165-174.
3. Ringuet, M. (2019). Conduite d'élevage et critères de croissance des génisses de renouvellement laitières et allaitantes (Thèse de doctorat vétérinaire). École Nationale Vétérinaire de Nantes (ONIRIS), France.
4. Le Cozler, Y. (2009). Croissance et développement des génisses de renouvellement : Objectifs pondéraux et impacts sur les performances ultérieures. **Élevage et Nutrition des Ruminants**, INRA. (Cité par Ringuet, M., 2019).
5. Review (2023). Early and late determinants of puberty in ruminants and the role of nutrition. **Animal Reproduction Science**, 248, 107-115.
6. Puberty and Estrus in Goats (2024). Reproductive management and hormonal control of estrus in caprines. **Journal of Applied Animal Research**, 52(1), 34-42.
7. Nutrition, Growth, and Age at Puberty in Heifers (2024). Metabolic signaling and nutritional modulation of heifer development. **Journal of Dairy Science**, 107(4), 2145-2158.
8. Anonyme. (2013). Manuel d'élevage des ruminants domestiques : Données zootechniques et physiologiques. Éditions de l'Élevage.
9. Derivaux, J. (1971). Physiopathologie de la reproduction et insémination artificielle des animaux domestiques. Vigot Frères.
10. Derivaux, J., & Ectors, F. (1980). Physiopathologie de la gestation et obstétrique vétérinaire. Éditions Point Vétérinaire.
11. Fetrow, J., & Noakes, D. E. (2018). Clinical signs and diagnosis of estrus in dairy cattle. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, 34(2), 255-269.
12. Hafez, E. S. E., & Hafez, B. (2017). Reproduction in farm animals (7th ed.). Wiley-Blackwell.

13. INRAP. (1988). Physiologie du cycle œstral chez les ruminants. Institut National de Recherche et d'Action Pédagogique.
14. Kolb, E. (1975). Physiologie des animaux domestiques (Vols. 1-2). Vigot Frères.
15. Lucy, M. C. (2011). Reproductive physiology of the high-producing dairy cow. **Journal of Dairy Science**, 94(2), 1095-1107.
16. Sheldon, I. M., Cronin, J. G., & Turner, R. J. (2020). Endocrine and uterine factors modulating the proestrus phase in cattle. **Domestic Animal Endocrinology**, 70, 106380.
17. Soltner, D. (1999). Les bases de la production animale : Tome 1, Les grandes productions animales. Collection Sciences et Techniques Agricoles.
18. Wiltbank, M. C., Souza, A. H., Carvalho, P. D., & Shaver, R. D. (2011). Physiological mechanisms linking ovulation, estrus duration, and fertility in dairy cows. **Animal Reproduction Science**, 124(3-4), 286-293.
19. Rieutort, M. (1995). Physiologie animale : Les grandes fonctions d'intégration et de nutrition. Masson.
20. Roche, J. F. (1997). Control and regulation of folliculogenesis in cattle. **Journal of Reproduction and Fertility. Supplement**, 51, 19-27.
21. Hanzen, C. (2000). Précis de physiologie de la reproduction chez la vache. Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Liège.
22. Vaissaire, J. P. (1977). Sexualité et reproduction des mammifères domestiques. Maloine Éditeur.
23. Colle, M., Ruffie, A., & Ruedas, E. (1986). Effets gonadiques de l'hormone de croissance. **Annales d'Endocrinologie**, 47(3), 185-191.
24. Ziani, K. (2026). Rôle de l'insuline dans la régulation de la fonction ovarienne chez la vache laitière. Notes de recherche et communication scientifique, Université de Djelfa.
25. Butler, W. R. (2003). Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. **Livestock Production Science**, 83(2-3), 211-218.
26. Lucy, M. C. (2000). Regulation of ovarian follicular growth by somatotropin and insulin-like growth factors in cattle. **Journal of Dairy Science**, 83(7), 1635-1647.

27. Dupont, J., Scaramuzzi, R. J., & Monniaux, D. (2014). Insulin signaling in the ovary of ruminants: Its role in follicular development and fertility. **Domestic Animal Endocrinology**, 48, 77-85.
28. Grimard, B., Freret, S., Chevallier, A., Pinto, A., Ponsart, C., & Humblot, P. (2000). Genetic and nutritional factors affecting the onset of post-partum ovarian activity in dairy cows. **Domestic Animal Endocrinology**, 19(4), 215-227.
29. Amstalden, M., Garcia, M. R., Williams, S. W., Stanko, R. L., Morrison, C. D., Keisler, D. H., & Williams, G. L. (2000). Leptin gene expression, circulating leptin, and luteinizing hormone pulsatility are acutely responsive to nutritional state in heifers. **Biology of Reproduction**, 63(1), 273-281.
30. Liefers, S. C., Veerkamp, R. F., te Pas, M. F., Delavaud, C., Chilliard, Y., & van der Lende, T. (2003). Associations between leptin, gene polymorphisms, and production, live weight, energy balance, feed intake, and fertility in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 86(3), 1033-1041.
31. Peters, A. R., & Ball, P. J. H. (1994). *Reproduction in cattle* (2nd ed.). Blackwell Science.
32. Gilbert-Bonne, M. (1995). *Gestion de la reproduction et rentabilité en élevage laitier*. Éditions du Point Vétérinaire.
33. Loisel, J. (1976). *Analyse des critères de fécondité et des intervalles de reproduction chez la vache laitière*. Thèse de doctorat vétérinaire, École Nationale Vétérinaire d'Alfort, France.
34. Denis, B. (1979). L'anoestrus post-partum chez la vache : Facteurs de variation et implications zootechniques. **Revue de Médecine Vétérinaire**, 130(4), 521-536.
35. Butler, W. R., & Smith, J. W. (2012). Metabolic and nutritional factors affecting the interval from calving to conception in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 95(4), 1825-1834.
36. Cauty, L., & Perreau, C. (2003). Analyse de la fertilité des vaches laitières : Signification et facteurs de variation de l'intervalle IA1-IA fécondante. **Inra Productions Animales**, 16(2), 115-124.
37. Giordano, J. O., Fricke, P. M., Guenther, J. N., Lopes, G., Herlihy, M. M., & Nascimento, A. B. (2012). Economic dynamics of breeding strategies pour primary artificial insemination in dairy herds. **Journal of Dairy Science**, 95(10), 5789-5810.

38. Pinedo, P. J., Daniels, A., de Vries, A., & Santos, J. E. P. (2015). Dynamics of herd fertility indicators in high-producing dairy cows. **Theriogenology**, 84(7), 1112-1123.
39. Roche, J. R., Friggens, N. C., Kay, J. K., Fisher, M. W., Downing, J. M., & Berry, D. P. (2013). Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and fertility. **Journal of Dairy Science**, 92(12), 5769-5801.
40. Santos, J. E. P., Thatcher, W. W., Chebel, R. C., Cerri, R. L. A., & Galvão, K. N. (2010). The effect of embryonic mortality on reproductive efficiency in dairy cattle. **The Cattle Practitioner**, 18(2), 134-145.
41. Seegers, H., & Malher, X. (1996). Modélisation de la gestion de la reproduction et critères d'évaluation de la fécondité en élevage laitier. **Revue de Médecine Vétérinaire**, 147(5), 365-374.
42. Stevenson, J. S., Hill, S. L., & Bridges, G. A. (2020). Progesterone and estrus synchronization protocols in dairy heifers and postpartum cows. **Domestic Animal Endocrinology**, 70, 106366.
43. Walsh, S. W., Williams, E. J., & Evans, A. C. O. (2018). A review of the causes of poor fertility in high-producing dairy cows. **Animal Reproduction Science**, 189, 1-11.
44. Metge, R. (1990). Suivi de la reproduction et gestion technico-économique des troupeaux laitiers. Éditions du Point Vétérinaire.
45. Rodriguez, A., Martinez, J., & Lopez, M. (2021). Dynamics of return to estrus and cycle length variation in non-pregnant dairy cows. **Journal of Dairy Research**, 88(3), 312-319.
46. Wattiaux, M. A. (1996). Reproduction and genetic selection. Babcock Institute for International Dairy Research and Development, University of Wisconsin-Madison.
47. Boichard, D., Barbat, A., & Bedu, S. (2002). Évolution génétique de la fertilité chez les bovins laitiers en France. **Inra Productions Animales**, 15(5), 327-336.
48. Lucy, M. C. (2001). ADSA Foundation Scholar Award: Reproductive loss in high-producing dairy cattle: Where will it end? **Journal of Dairy Science**, 84(6), 1277-1293.
49. Paccard, P. (1991). Le suivi de la reproduction dans les troupeaux laitiers : Indicateurs et objectifs. Institut de l'Élevage, Paris.

50. Rauw, W. M., Kanis, E., Noordhuizen-Stassen, E. N., & Grommers, F. J. (1998). Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: A review. **Livestock Production Science**, 56(1), 15-33.
51. Bouaroui, R., Rekik, B., & Ben Gara, A. (2009). Performances de production et de reproduction de la race Montbéliarde en Tunisie. **Rencontres Recherches Ruminants**, 16, 215.
52. Butler, W. R. (2005). Relationship of milk production and nutrition to fertility in high-producing dairy cows. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, 21(2), 461-468.
53. Dohoo, I. R., & Silva, P. S. (1992). Production and reproduction performance in dairy herds: Effect of lactation number and parity. **Preventive Veterinary Medicine**, 12(3-4), 183-195.
54. Hanzen, C., & Hödel, A. (1996). Influence du rang de lactation sur les principaux paramètres de reproduction chez la vache laitière. **Annales de Médecine Vétérinaire**, 140(3), 195-202.
55. Institut de l'Élevage. (2009). Performances de la race Montbéliarde : Bilan national des contrôles de performances. Compte rendu technique, Paris, France.
56. Bardinand, M., Bugnard, F., & Sulpice, P. (2000). Relations entre l'état corporel en fin de gestation, les difficultés de vêlage et les performances de reproduction chez la vache laitière. **Revue de Médecine Vétérinaire**, 151(4), 315-324.
57. Barnouin, J. (1983). Bilans métaboliques et pathologie de la vache laitière : Évolution post-partum du bilan énergétique chez les primipares et les multipares. **Annales de Recherches Vétérinaires**, 14(2), 121-132.
58. Bazin, S. (1984). Grille de notation de l'état corporel des vaches laitières. Institut de l'Élevage & ITEB, Paris.
59. Butler, W. R., & Smith, R. D. (1989). Interrelationships between energy balance, milk production and reproduction in high-producing dairy cows. **Journal of Animal Science**, 67(10), 2886-2892.
60. Derivaux, J., & Ectors, F. (1984). Physiologie du post-partum chez la vache. Éditions du Point Vétérinaire.

61. Drame, D., Hanzen, C., & Ectors, F. (1999). Évolution de la note d'état corporel (BCS) en période péri-partum et son impact sur la reprise de la cyclicité chez la vache laitière. **Annales de Médecine Vétérinaire**, 143(5), 325-334.
62. Driancourt, M. A., Thatcher, W. W., Terqui, M., & Andrieu, D. (1991). Dynamics of ovarian follicular development in cattle during the post-partum period. **Domestic Animal Endocrinology**, 8(2), 209-221.
63. Espinasse, J., & Butler, W. R. (1998). Production laitière précoce et fertilité chez la vache multipare. **Recueil de Médecine Vétérinaire**, 174(3), 85-92.
64. Fourichon, C., Seegers, H., & Malher, X. (2000). Effect of disease on milk production in the dairy cow: A review. **Preventive Veterinary Medicine**, 47(1-2), 1-22.
65. Madani, T., Belkasmi, F., & Sharfaoui, K. (2004). Reconstitution des réserves corporelles au cours de la lactation chez les vaches laitières en zones semi-arides. **Rencontres Recherches Ruminants**, 11, 143.
66. Mulvany, P. M. (1977). Dairy cow condition scoring. National Institute for Research in Dairying, Paper No. 4468.
67. Serieys, F. (1997). Le tarissement de la vache laitière : Nutrition, santé et gestion du troupeau. Éditions France Agricole.
68. Steffan, J. (1987). Note d'état corporel au vêlage, involution utérine et intervalle vêlage-insémination fécondante. **Le Point Vétérinaire**, 19(104), 211-218.
69. Taylor, V. J., Beever, D. E., Bryant, M. J., & Wathes, D. C. (2004). Metabolic profiles and progesterone profiles in high-producing dairy cows in early lactation. **Journal of Dairy Science**, 87(3), 617-630.
70. Vallet, A. (2000). Maîtrise de la balance énergétique post-partum et fertilité de la vache laitière. Thèse de doctorat vétérinaire, ENV Nantes, France.
71. Weaver, L. D. (1987). Effects of nutrition on reproduction in dairy cattle. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, 3(3), 513-528.
72. Eddy, R. G., Davies, O., & David, C. (1991). Twinning in dairy cattle: Incidence, management and reproductive performance. **The Veterinary Record**, 129(26), 567-571.

73. Gordon, I., & Williams, M. (1987). Factors affecting twin calving and its consequences in dairy herds. **Animal Production**, 44(3), 345-353.
74. Hanzen, C., Drame, D., & Theron, L. (1996). Les pathologies du post-partum chez la vache laitière : Facteurs de risque et conséquences sur la reproduction. **Annales de Médecine Vétérinaire**, 140(4), 265-278.
75. Kamgarpour, R., Daniel, R. C., & Fenwick, D. C. (1999). Subclinical hypocalcemia in postpartum dairy cows: Associated risk factors and metabolic consequences. **Australian Veterinary Journal**, 77(3), 179-185.
76. Klassen, D. J., Erf, D. F., & Thompson, J. R. (1990). Factors affecting dystocia and pelvic body measurements in dairy heifers. **Journal of Dairy Science**, 73(6), 1655-1663.
77. Bencharif, D., & Tainturier, D. (2002). L'involution utérine chez la vache : Physiologie, retards et conséquences sur la fertilité. **Revue de Médecine Vétérinaire**, 153(5), 311-320.
78. Bouzebder, Z., Bouzebder-Aoun, A., & Chebaut, M. (2006). Pathologies du post-partum et performances de reproduction chez la vache laitière en Algérie. **Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux**, 59(1-4), 25-32.
- Coleman, D. A., Thayne, W. V., & Dailey, R. A. (1985). Factors affecting reproductive performance in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 68(7), 1793-1803.
79. Disenhaus, C., & Royal, M. D. (2004). Relations entre le bilan nutritionnel, la dynamique folliculaire et l'anœstrus post-partum chez la vache laitière. **Inra Productions Animales**, 17(3), 201-212.
80. Hanzen, C. (1994). L'anœstrus post-partum chez la vache laitière : Étiologie, diagnostic et traitement. **Annales de Médecine Vétérinaire**, 138(6), 395-408.
81. Loeffler, S. H., de Vries, M. J., & Schukken, Y. H. (1999). The effects of retained placenta on consecutive ovarian activity and fertility in dairy cows. **Theriogenology**, 51(3), 627-639.
82. Opsomer, G., Coryn, M., & de Kruif, A. (1996). Postpartum anoestrus in high-producing dairy cows: A review. **VlaamsDiergeneeskundigTijdschrift**, 65(4), 184-193.
83. Barker, A. R., Schrick, F. N., Lewis, M. J., Dowlen, H. H., & Oliver, S. P. (1998). Influence of clinical mastitis during early lactation on reproductive performance of Jersey cows. **Journal of Dairy Science**, 81(5), 1285-1290.

84. Faye, B., Perochon, L., & Dorr, N. (1988). Les kystes ovariens chez la vache laitière : Facteurs de risque et incidence sur les paramètres de reproduction. **Le Point Vétérinaire**, 20(112), 45-54.
85. Gordon, I. (1996). Controlled reproduction in cattle and buffaloes (Vol. 1). CAB International.
86. Loeffler, S. H., de Vries, M. J., & Schukken, Y. H. (1999). The effects of clinical mastitis on consecutive ovarian activity and fertility in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 82(11), 2393-2404.
87. López-Gatius, F., Santolaria, P., Yániz, J., Fenech, M., & López-Béjar, M. (2002). Risk factors for postpartum ovarian cysts and their spontaneous regression or persistence in lactating dairy cows. **Theriogenology**, 58(8), 1623-1632.
88. Sprecher, D. J., Hostetler, D. E., & Kaneene, J. B. (1997). A lameness scoring system that uses posture and gait to predict dairy cattle reproductive performance. **Theriogenology**, 47(6), 1179-1187.
89. Zulu, V. C., Sawamukai, Y., Nakada, K., Kida, K., & Moriyoshi, M. (2002). Relationship among insulin-like growth factor-I, blood metabolites and postpartum ovarian function in dairy cows. **Journal of Veterinary Medical Science**, 64(10), 879-885.
90. Barnouin, J. (1983). Type d'élevage, troubles de la reproduction et pathologie multifactorielle chez la vache laitière. **Inra Productions Animales**, 4(2), 123-134.
91. Britt, J. H. (1986). Improving of dairy cows reproductive efficiency by managing their environment. **Journal of Dairy Science**, 69(7), 2004-2014.
92. De Kruif, A. (1975). An investigation of the parameters of fertility in a dairy herd and the factors affecting them. **Theriogenology**, 4(1), 29-43.
93. Gordon, et al. (1987). Management strategies for dairy cattle reproduction under hyperthermic environments in Saudi Arabia. **Animal Production Science**, 27(3), 195-205.
94. Gwazdauskas, F. C. (1985). Effects of climate on reproduction in cattle. **Journal of Dairy Science**, 68(6), 1568-1578.
95. López-Gatius, F. (2003). Is fertility declining in dairy cattle? A retrospective study in northeastern Spain. **Theriogenology**, 60(1), 89-99.

96. Paccard, P. (1981). L'expression du comportement d'œstrus chez la vache laitière en stabulation libre : Rôle de l'exercice. **Le Point Vétérinaire**, 12(58), 23-31.
97. Silva, H. M., Wilcox, C. J., Thatcher, W. W., Becker, R. B., & Roman, R. M. (1992). Factors affecting days open, calving interval and conception rate in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, 75(2), 544-553.
98. Thatcher, W. W., & Collier, R. J. (1986). Effects of climate on bovine reproduction: Physiological mechanisms and management strategies. **Journal of Dairy Science**, 69(11), 3120-3132.
99. INRAE. (2018). Alimentation des ruminants : Apports nutritionnels, besoins des animaux, valeurs des aliments et tables INRAE 2018. (L. Hochberg, Ed.). Éditions Quæ.
100. Institut de l'Élevage (IDELE). (2024). Coûts de production en élevage bovin laitier : Analyse des résultats nationaux et indicateurs de rentabilité. IDELE Éditions.
101. Saborío-Montero, A., Schils, S., Vanwinge, J., & Roche, J. R. (2023). Postpartum metabolic disorders in high-producing dairy cows: A review of etiology, metabolic pathways, and nutritional prevention strategies. **Journal of Dairy Science**, 106(4), 2245-2261.
102. Van Gastelen, S., Dijkstra, J., & Bannink, A. (2019). Dietary strategies to mitigate enteric methane emissions from dairy cows: A meta-analysis of experimental data. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, 285, 106631.
103. Appuhamy, J. A. D. R. N., Moraes, L. E., Wagner-Storch, A. M., Lapierre, H., & Kebreab, E. (2016). Development of equations to predict daily water intake of lactating dairy cows on an individual or herd basis. **Journal of Dairy Science**, 99(5), 3381-3395.
104. Lean, I. J., de Garis, P. J., McNeill, D. M., & Block, E. (2014). Phosphorus nutrition and metabolism in dairy cattle: Transition Cow Management. **Animal Production Science**, 54(10), 1541-1550.
105. Puglisi, I., Lopreiato, V., Chiacchio, F., Minuti, A., & Trevisi, E. (2022). Beta-carotene supplementation in transition dairy cows: Effects on reproductive performance, oxidative status, and immune response. **Domestic Animal Endocrinology**, 80, 106732.
106. Santos, J. E. P., Ribeiro, E. S., & Martinez, N. (2019). Postpartum health and optimization of transition cow management to improve fertility in dairy cows. **Animal Reproduction**, 16(3), 374-388.

107. Sordillo, L. M. (2016). Nutritional strategies to optimize mammary gland health and immune function. **Annual Review of Animal Biosciences**, 4(1), 211-230.
108. Spears, J. W., & Weiss, W. P. (2014). Role of trace minerals and vitamins in immunity and health of cattle. **Annual Review of Animal Biosciences**, 2(1), 193-217.
109. Leroy, J. L. M. R., Vanholder, T., Delanghe, J. R., Cools, A., Yang, M. Y., Veerkamp, R. F., ... & Opsomer, G. (2015). Metabolic changes in high-yielding dairy cows and their association with ovarian function and embryo survival: A review. **Theriogenology**, 62(10), 835-848.
110. Roche, J. R., Burke, C. R., Meier, S., & Walker, C. G. (2018). Nutrition × reproduction interaction in the dairy cow: An update. **Animal Production Science**, 58(8), 1403-1423.
111. Walsh, S. W., Williams, E. J., & Evans, A. C. O. (2011). A review of the causes of poor fertility in high-producing dairy cows. **Animal Reproduction Science**, 124(3-4), 143-151.
112. Leroy, J. L. M. R., Uhlson, M., & Van Soom, A. (2023). Metabolic stress and lipotoxicity in the bovine ovary: How fat metabolism impacts oocyte quality and early embryo development. **Theriogenology**, 198, 112-121.
113. Adriaens, I., Saeys, W., Lamberigts, C., Huybrechts, T., Geerinckx, K., & Aernouts, B. (2022). Milk urea nitrogen variations and their relationship with timed artificial insemination outcomes. **Animal Reproduction Science**, 238, 106935.
114. Carvalho, P. D., Santos, V. G., Giordano, J. O., & Fricke, P. M. (2023). Body condition score changes during the transition period and its long-term effects on artificial insemination success in dairy cattle. **Theriogenology**, 195, 12-21.
115. Horst, R. L., Goff, J. P., & Ensley, S. (2024). Calcium homeostasis and macromineral disorders in the transition dairy cow: Pathophysiology and nutritional prevention. **Journal of Dairy Science**, 107(2), 1145-1159.
116. INRAE. (2021). *Système d'alimentation INRAE pour les ruminants*. Éditions Quæ.
117. LeBlanc, S. J. (2024). Reproductive tract health and disease in dairy cows: Focus on retained placenta and metritis. **Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice**, 40(1), 45-61.

118. Leroy, J. L. M. R., Uhlon, M., & Van Soom, A. (2024). The vulnerable oocyte: How early postpartum metabolic stress damages follicle development and embryo survival. **Reproduction in Domestic Animals**, 59(1), e14510.
119. Lucy, M. C., & Pohler, E. G. (2025). Impact of health disorders during the transition period on herd survival, culling dynamics, and lifetime reproductive performance in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, 108(4), 2890-2905.
120. Santos, J. E. P., Ribeiro, E. S., & Martinez, N. (2026). Systemic inflammation and immune activation during the transition period: Implications for uterine health and early embryonic survival in dairy cattle. **Animal Reproduction**, 23(1), e2025004.
121. Sato, T., Tanaka, M., & Suzuki, K. (2023). The role of antioxidant vitamins (A, E) and trace elements (Selenium, Zinc) in preventing placental retention and endometritis in modern dairy herds. **Journal of Veterinary Medical Science**, 85(4), 412-421.
122. Sheldon, I. M., Cronin, J. G., & Owens, S. E. (2025). Pathogenesis of postpartum uterine diseases in dairy cattle: Microbial shifts, endometrial immunity, and tissue repair. **Theriogenology**, 232, 78-92.
123. Sordillo, L. M. (2024). Mammary gland immunobiology and nutritional strategies to optimize health in periparturient dairy cows. **Annual Review of Animal Biosciences**, 12(1), 185-206.
124. Whay, H. R., Shearer, J. K., & Kaler, J. (2025). Lameness in transition dairy cows: Interactions between metabolic stress, lying behavior, and claw health. **The Veterinary Journal**, 303, 106090.