



# République algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Saad Dahleb - Blida 1-

Département de Biologie et Physiologie des Organismes

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Option : Biologie et Physiologie de la Reproduction

Projet de fin d'études en vue d'obtention du

Diplôme de Master 2

Sous le thème :

**Synchronisation des chaleurs bovines. Etude de l'effet d'une supplémentation en spiruline, graines de lin et de graines de soja sur les performances de la reproduction des vaches laitières.**

*Soutenu le : 31-08-2020*

**Présenté par :**

**KHERROUS Inès**

**&**

**MEZIANE Asma**

*En présence du jury composé de :*

Mme Y. ZATRA	MCB	USDB1	Présidente
Mr. A. KALEM	MCB	ISV	Examineur
Mme N. DJELLOULI	MCB	ENP	Promotrice
Mme A. BOURADA	Vétérinaire principal	ITELV	Co-promotrice

*Année universitaire 2019/2020*

## REMERCIEMENTS

À Madame **ZATRA Yamina**, Maître de conférences (B) à l'université de Blida 1, pour avoir accepté de présider le jury de cette soutenance. Nous vous serons, à jamais, redevables pour ce que vous nous avez apporté tout au long de notre cursus.

À Monsieur **KALEM Ammar**, Maître de conférences (B) à l'institut des sciences vétérinaires de Blida 1, pour avoir accepté d'expertiser et d'examiner ce travail.

À Monsieur **REBIA Ahmed** et Monsieur **LEBIADH Mohamed** pour leur accueil au sein de leur ferme. Leur confiance exemplaire était très appréciable.

Nous tenons à exprimer nos chaleureux remerciements à Madame **DJELLOULI Naima**, Maître de conférences (B) à l'École Polytechnique d'Alger, qui nous a fait l'honneur de nous encadrer et de diriger ce présent travail. Nous ne vous remercierons jamais assez pour vos précieux conseils et vos qualités scientifiques et humaines sans faille.

À Madame **BOURADA Afaf**, pour son sérieux, sa disponibilité et les ondes positives qu'elle nous transmettait à chaque rencontre.

À Monsieur **NEDJEMI Hamza**, pour son indéfectible soutien scientifique tout au long de notre recherche.

Sans oublier tous les enseignants de l'université de Blida 1 qui ont, de près ou de loin, contribué à notre formation.

## **DEDICACES**

### ***A mes parents***

*Mama, pour ton amour inconditionnel, pour ton soutien continu, pour tes sacrifices. Tu es de loin la meilleure et la plus douce de toutes les mamans. Je te dois cette réussite, entièrement. Je t'aime.*

*Papa, J'espère que là où tu es, tu es fier de la femme que je suis devenue.*

*A Rania et Rihanna, 11 ans que vous nous comblez d'amour et de bonheur. Vous me manquez, BEAUCOUP. J'aurais aimé que vous soyez présentes en ce jour.*

*A ma douce Chérifa et la starlette de la famille Nouna.*

*A mes chers frères Omar et Brahim ; Préparez-vous, la fusée va décoller !*

*A mes chères sœurs Farah et Faiza ; Pour leur amour et leur soutien impérissable.*

*A mon partenaire de vie Fahd, pour ces trois magnifiques années et celles à venir.*

*A BABA et YEMA, pour les beaux et tendres souvenirs que je garde avec/chez vous.*

*A mes cousines chéries ; Amel, Amina, Lylia, Imene, Inès.*

*A toute ma famille et ma belle-famille.*

*A mes amis d'hier, d'aujourd'hui et de demain ; Sarra, Rania et Ramzi. Merci pour ces belles années d'amitié.*

*A ma co-équipière et chère cousine INES, pour les –drôles- astuces de révisions et tous les moments de complicité et d'engueulades (SOUVENT).*

*A mes plus belles rencontres de l'université, Asma, Madina, Zakari, Khadidja Adel, Khalil et Youcef. Pour rendre les séances de cours moins pénibles. Pour nos fous rires et pour toutes les belles choses partagées.*

**Isma.**

*Ames parents, à qui je dois tout, leur appui inconditionnel et leur amour m'ont élevée au sommet ;*

*A mon papounet, chéri qui m'a tout donné et envers qui je serai indéfiniment redevable*

*Ama maman, chérie qui n'a jamais cessé de m'épauler, de m'encourager et de me supporter surtout*

*Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde et éternelle reconnaissance.*

*A ma deuxième maman, khaltou Chafika pour toute l'affection et l'amour dont elle a fait preuve avec moi.*

*A mon frère Boualem, pour m'avoir fait des misères pendant de longues années ; J'espère que le changement positif que tu as opéré va durer éternellement*

*A ma petite sœur Anais, qui a embelli notre vie et l'a rendue meilleure.*

*A mes grands-parents maternels et paternels. Vous avez toujours été un exemple pour moi. Merci d'avoir toujours cru en moi.*

*A la fofolle de la famille Farah que j'aime énormément et qui a toujours su trouver les mots pour me reconforter.*

*A ma co-équipière de toujours, Isma. A nos infinis moments de discord truffés d'amour et de bonheur.*

*A toutes mes cousines, avec qui j'ai partagé mes meilleurs moments.*

*A toute ma famille, grand et petit (oncles, tantes et cousins)*

*A Anis, pour notre complicité, nos délires les plus fous, et pour les nombreuses fois où il a du supporter mon tempérament.*

*The last but not the least, a Yasmine qui, grâce à toi, le mot amitié a pris tout son sens.*

*A tous mes camarades spécialement Asma, Madina, Zakari, Youcef et à la plus adorable Nouha.*

*A toutes les personnes citées, je vous aime fort.*

**Ines.**

## TABLE DE MATIERE

Remerciements .....	
Dédicaces .....	
Liste des figures .....	
Liste des tableaux .....	
Liste des annexes.....	
Liste des abréviations .....	
Résumé .....	
INTRODUCTION .....	1
Chapitre I : Physiologie et critère de la reproduction .....	3
I.1 Rappels de la physiologie du cycle sexuel de la vache .....	3
I.1.A. Le cycle œstral .....	3
I.1.B. Le cycle ovarien .....	4
I.1.B.1. L'ovogénèse .....	4
I.1.B.2. La folliculogénèse .....	5
I.1.B.3. La phase lutéale.....	6
I.2. La régulation hormonale du cycle de la reproduction .....	7
I.2.1. L'hormone hypothalamique .....	7
I.2.2. Les hormones hypophysaires .....	7
I.2.2. 1. La FSH (Hormone folliculo-stimulante) .....	7
I.2.2. 1. La LH (Hormone lutéinisante).....	7
I.2.3. Les hormones stéroïdiennes .....	7
1.2.3.1. L'œstrogène.....	7
1.2.3.2. La progestérone .....	8
1.2.3.3. La prostaglandine F2 alpha (PGF2 $\alpha$ ) .....	8
I.2.4. Les maladies liées à la reproduction dans les troupeaux bovins .....	8
Chapitre II : Taux et moyens de détection des chaleurs .....	9
II.1. Pourquoi s'intéresser à la détection des chaleurs .....	9
II.2. Moyens de détection des chaleurs .....	10
II.2.1. Observation directe du comportement.....	10
II.2.2. Observation indirecte.....	11
II.2.2.1. Les dispositifs mécaniques .....	11
II.2.2.2. Les avantages et les inconvénients des dispositifs mécaniques .....	14
II.2.2.3. Les dispositifs électroniques.....	14
II.2.3. Détection des chaleurs par le dosage de Progestérone .....	16
II.2.4. Mesure de la température corporelle .....	16
Chapitre III : Synchronisation des chaleurschez les bovins .....	17
III.1. Procédé de synchronisation des chaleurs par induction hormonale .....	17
III.1.1. But de la synchronisation .....	17
III.1.2. Moyens et méthodes zootechniques .....	17
III.1.2.1. Le flushing .....	17
III.1.2.2. L'effet mâle .....	18
III.1.2.3. La conduite de l'élevage .....	18

III.1.2.4. Les traitements hormonaux .....	19
II.I.1.3. Protocole de synchronisation des chaleurs .....	20
I.II.1.3. 1. A base de prostaglandine .....	20
.III.1.3.2. A base de GnRH .....	21
III.2. Facteurs influençant les performances de la reproduction .....	22
III.2.1. Facteurs individuels.....	22
III.2.2. Facteurs liés aux troupeaux .....	
Chapitre IV. L'alimentation et la reproductionchez la vache .....	26
IV.1. Effets d'une supplémentation en nutriments sur la fertilité des vaches .....	27
IV.1.1. La Spiruline .....	27
IV.1.1.1. Taxonomie .....	28
IV.1.1.2. Cycle de reproduction .....	28
IV.1.1.3. Milieu de culture .....	28
IV.1.1.4. Composition de la spiruline .....	28
IV.1.1.5. Spiruline à usage animal et humain .....	30
IV.1.2. Les phytoestrogènes.....	33
IV.1.2.1. Les graines de lin .....	34
IV.1.2.1.1. Historique .....	34
IV.1.2.1.2. Taxonomie .....	34
IV.1.2.1.3. Effet sur les performances zootechniques .....	34
IV.1.2.2. Les graines de soja .....	35
IV.1.2.2.1. Historique .....	36
IV.1.2.2.2. Taxonomie .....	36
IV.1.2.2.3. Composition des graines de soja .....	36
IV.1.2.2.4. Potentiel nutritionnel des graines de soja .....	36
Approche expérimentale .....	37
Objectifs et intérêt de cette étude .....	37
I. Approche expérimentale proposée .....	38
I.1. La zone de l'étude .....	38
I.2. Conduite de l'alimentation .....	38
I.3. Conduite de la reproduction.....	38
I.4. Conduite de la traite .....	39
I.5. Matériel biologique .....	39
II. Matériels et méthodes.....	39
II.1. Matériel de la synchronisation.....	39
II.2. Matériel pour l'insémination artificielle .....	40
II.3. Méthodes .....	41
II.4. Résultats attendus .....	43
Discussion et résultats .....	44
Conclusion et perspectives .....	53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	54
Annexes .....	59

## **LISTE DES FIGURES**

**Figure 1:** Représentation schématique des différentes phases du cycle œstral chez la vache laitière (**Wattiaux, 2006**).

**Figure 2:** Coupe longitudinale d'un ovaire de vache (**Konig *et al.*, 2004**).

**Figure 3:** Comparaison des cycles œstral et ovarien de la vache (**Mauffré *et al.*, 2016**).

**Figure 4:** Régulation hormonale du cycle œstral (**Chastant Maillard, 2010**).

**Figure 5:** Bloc marqueur de la marque Raidex (à droite). Collier marqueur (à gauche)([www.raidex.de/fr/](http://www.raidex.de/fr/))

**Figure 6:** Crayons marqueurs Raidex ([www.raidex.de/fr/](http://www.raidex.de/fr/)).

**Figure 7:** Capsules de peinture KAMAR ([www.kamarinc.com](http://www.kamarinc.com)).

**Figure 8:** Patch ESTROTECT (**Vital concept agriculture**).

**Figure 9:** Principe du système HeatWatch (**Allain *et al.*, 2012**).

**Figure 10 :** La concentration moyenne de progestérone confirmée par la grossesse par rapport aux jours d'œstrus(**Friggens *et al.*, 2008**).

**Figure 11:** a. dispositif vaginal CIDR, b. implant sous cutané CRESTAR(**Manuel de formation, 2018**)et c. PRIDDELTA ([www.ceva-africa.com](http://www.ceva-africa.com))

**Figure 12:** Schéma du protocole de maîtrise des cycles à base de progestérone (**Ponsart *et al.*, 2005**).

**Figure 13:** Protocole de synchronisation à base de PGF2 $\alpha$ (**Vaissaire *et al.*, 2018**).

**Figure 14:** Protocole associant GnRH - PGF2 -GnRH ((**Laghrou *et al.*, 2012**).

**Figure 15:** Culture de la spiruline (Google images).

**Figure 16:** Composition biochimique de la spiruline (**Lecointre., 2017**).

**Figure 17:** Mécanisme de l'activité antioxydante, immunomodulatrice et anti-inflammatoire de la Spiruline (**Manet., 2016**).

**Figure 18:** Les graines de soja *Glycinemax*(L.)(**Google images**).

**Figure 19:** Cycle biologique selon (**Balloni *et al.*, 1980 in Charpy, 2008**).

## **LISTE DES TABLEAUX**

**Tableau I :** Comparaison de la sensibilité des détecteurs mécaniques de chevauchement.

**Tableau II :** Comparaison de la sensibilité des détecteurs électroniques de chevauchement.

**Tableau III :** Les avantages et les inconvénients des dispositifs mécaniques.

**Tableau IV :** Milieu de culture de la spiruline selon (**Jourdan., 2014**).

**Tableau V :** Composition chimique (%) des grains de lin (**Rubilar et al., 2010**).

## **LISTE DES ANNEXES**

**Annexe 1 :** Les maladies fréquentes liées à la reproduction chez les bovins.

**Annexe 2 :** Les dispositifs mécaniques.

**Annexe 3 :** La spiruline.

**Annexe 4 :** Les graines de lin.

**Annexe 5 :** Les graines de soja.



## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>ADN</b>	Acide désoxyribonucléique
<b>AG</b>	Acide gras
<b>AL</b>	Acide linoléique
<b>ALA</b>	Acide alpha linoléique
<b>CIDR®</b>	Controlled Internal Drug Release
<b>DEC</b>	Détecteur électronique du chevauchement
<b>E2</b>	Estradiol
<b>eCG</b>	Equine Chorionic Gonadotropin
<b>FSH</b>	Hormone Folliculo-Stimulante
<b>GLE</b>	Les graines de lin
<b>GnRH</b>	Gonadotropin Releasing Hormone
<b>GPG</b>	GnRH- Progesterone - GnRH
<b>GPx</b>	Glutathion peroxydase
<b>GST</b>	Glutathion-S-transférase
<b>HCD</b>	High-carbohydrate diet
<b>HDL</b>	High density lipoprotein
<b>IFN-<math>\gamma</math></b>	Interferon-gamma receptor
<b>IgG</b>	Immunoglobuline de type G
<b>IgM</b>	Immunoglobuline de type M
<b>IL-10</b>	Interleukine 10
<b>IL-17</b>	Interleukine 17
<b>IL-4</b>	Interleukine 4
<b>LDL</b>	Low density lipoprotein
<b>LH</b>	Hormone lutéinisante
<b>NK</b>	Natural Killer
<b>P4</b>	Progestérone
<b>PGE 2</b>	Prostaglandine E <sub>2</sub>
<b>PGF2<math>\alpha</math></b>	Prostaglandine F2 alpha
<b>PMSG</b>	Pregnant Mare Serum Gonadotropin
<b>PRID®</b>	Progesterone-Releasing Intravaginal Device
<b>SHBG</b>	Sex Hormone-Binding Globulin
<b>SP</b>	La spiruline
<b>Stat3</b>	Signal transducer and activator of transcription 3
<b>TNF -<math>\alpha</math></b>	Tumor Necrosis Factor alpha
<b>VLB 17</b>	Aliment Vache Laitière 17% de protéines / Code de référence B

## Résumé

La maîtrise de la reproduction en élevage bovin est primordiale pour la rentabilité économique, elle constitue un préalable indispensable à toute production. Pour cela, le vétérinaire utilise plusieurs traitements hormonaux de synchronisation des chaleurs pour apporter des solutions aux éleveurs en harmonisant les cycles sexuels de leurs vaches et de regrouper, par là même, leur travail au moment de la mise en reproduction.

Dans cette étude, trois schémas de synchronisation ont été proposés pour comparer et établir lequel est le mieux adapté pour les trois groupes de vaches (10 chacun) de la race Prim'Holstein désignées pour cette étude et ayant reçu, pour le compte de l'expérience, trois programmes alimentaires différents composés de spiruline, de graines de lin et de soja.

Dans le lot 1, les vaches allaient recevoir l'alimentation habituelle associée au traitement standard (PRID). Dans le lot 2, les vaches allaient recevoir leur alimentation habituelle, la spiruline (100 g/j/t) et les graines de lin (100 g/j/t). Quant aux traitements hormonaux de celles-ci ils allaient être comme suit : Pose PRID (J0), injection de PgF2 $\alpha$  (J2), retrait du PRID avec une injection de la PMSG (J3), insémination artificielle (J4). Dans le lot 3, les vaches allaient recevoir leur alimentation habituelle, la spiruline (200 g/j/t), les graines de lin (200 g/j/t) et les graines de soja (200 g/j/t). Son protocole est similaire à celui du groupe 1 à la seule différence que celui-ci est dépourvu d'injections. L'insémination artificielle se fera à l'aveugle.

D'après les hypothèses que nous avons élaborées et suite à nos recherches, les trois schémas proposés affecteraient fortement les paramètres hormonaux, biochimiques, reproductifs, et ceux de la composition et de la qualité laitière de façon très favorable. Un impact socio-économique est également ciblé par cette étude.

**Mots-clés** : Fertilité, synchronisation des chaleurs, alimentation, spiruline, graines de lin, graines de soja.

## ملخص :

يعتبر نجاح التكاثر عنصرا ضروريا للمردودية الاقتصادية لتربية المواشي و هو شرط لكل إنتاج. و لهذا، تم تصميم تزامن الحرارة عن طريق الحث الهرموني الذي يسمح بالتحكم في الدورات الجنسية لدى الأبقار و تنسيقها و في نفس الوقت جمع العمل خلال التكاثر.

في هذه الدراسة ، تم اقتراح ثلاث مخططات تزامن لمقارنة وتحديد الأنسب لمجموعات الأبقار الثلاث (10 لكل منها) من سلالة "بريم هولستين" المعنية لهذه الدراسة و التي تلقت في هذه التجربة ثلاثة برامج غذائية تتكون من السبيرولينا ، بذور الكتان و فول الصويا.

في الدفعة الأولى، تتلقى الأبقار العلف المعتاد المرتبط بالمعاملة القياسية (PRID). في الدفعة 2 ، ستتلقى الأبقار علفها المعتاد ، ذلك بالإضافة لسبيرولينا (100 جم / د / طن) وبذور الكتان (100 جم / د / طن). أما بالنسبة للعلاجات الهرمونية فستكون على النحو التالي: وضع PRID (D0) ، وحقن  $PgF2\alpha$  (D2) ، وسحب PRID بحقنة (PMSGD3)، والتلقيح الاصطناعي (D4). في الدفعة 3 ، ستتلقى الأبقار علفها المعتاد ، ذلك بالإضافة لسبيرولينا (200 جم / د / طن) ، بذور الكتان (200 جم / د / طن) وفول الصويا (200 جم / د / طن). بروتوكولها يشبه بروتوكول المجموعة 1 مع الاختلاف الوحيد في أن هذا البروتوكول لا يتطلب الحقن.

و حسب الفرضية التي أعدناها عقب أبحاثنا، فإن المخططات الثلاثة التي تمت صياغتها تمس العوامل الهرمونية و البيوكيماوية و التناسلية، و كذا معايير مكونات و نوعية الحليب.

الكلمات المفتاحية: تزامن الحرارة، التغذية،سبيرولينا،بذور الكتان، فول الصويا.خصوصية،

## Summary

The control of the reproduction in cattle breeding is essential for the economic profitability; it constitutes an essential precondition for any production. For this purpose, the veterinarian uses several hormonal treatments to synchronize the heat to provide solutions to breeders by harmonizing the sexual cycles of their cows and to group their work at the time of breeding.

In this study, three synchronization schemes were proposed to compare and establish which one is the most suitable for the three groups of cows (10 each) of the Prim'Holstein breed designated for this study and having received, on behalf of the experiment, three different feeding programs composed of spirulina, linseed and soybean. In lot 1, the cows were fed the usual diet associated with standard treatment (PRID). In lot 2, the cows were fed their usual feed, spirulina (100 g/d/t) and flaxseed (100 g/d/t). The hormonal treatments for these would be as follows: PRID injection (D0), injection of PgF2 $\alpha$  (D2), removal of PRID with an injection of PMSG (D3), artificial insemination (D4). In lot 3, the cows were to receive their usual feed, spirulina (200 g/d/t), flaxseed (200 g/d/t) and soybeans (200 g/d/t). Its protocol is similar to that of group 1 with the only difference that this group has no injections. Artificial insemination will be done blind.

According to the hypotheses we have developed and as a result of our research, the three proposed schemes would strongly affect the hormonal, biochemical, reproductive, composition and milk quality parameters in a very favourable manner. A socio-economic impact is also targeted by this study.

**Key-words:** Fertility, Heat synchronization, Feed, Spirulina, Flax seeds, Soybeans.

## INTRODUCTION

Les performances de la reproduction revêtent une grande importance du point de vue économique en élevage, notamment en élevage de vaches laitières. En effet, l'objectif un veau par vache et par an est la clé de voûte d'un bon élevage bovin rentable et économique, mais cet objectif est difficile à atteindre voire même impossible sans tenir compte de plusieurs paramètres (**Allain, 2014**).

De plus, la production laitière est étroitement liée à la naissance de veaux et *vice versa* : plus la production de lait est importante, et plus les problèmes de reproduction peuvent se poser. En élevage allaitant, les performances de reproduction sont souvent faibles, limitant ainsi la production de veaux. (**Meyer, 2009**)

Il est indéniable que l'alimentation en élevage représente un facteur-clé qui joue sur les performances de la reproduction. En effet, le nombre d'études scientifiques menées dans ce sens ne laissent aucun doute sur l'influence directe de l'alimentation sur la qualité de la reproduction (**Meyer, 2009**). Selon **Burke et al., 2000** par exemple, l'augmentation de la note de l'état corporel d'un point permettrait d'augmenter le taux de fertilité. Il est également observé un effet positif sur la fertilité des vaches lorsqu'un flushing à base d'aliments et de fourrage de bonne qualité est pratiqué sur une courte durée (3 semaines) juste avant de commencer un protocole d'induction hormonale (**Chevallier et al., 1996**).

Les techniques de reproduction suivies au sein de l'Institut Technique d'Élevage (ITELV) reposent sur l'induction hormonale des chaleurs afin d'améliorer la reproduction. Ces techniques sont majoritairement utilisées dans le monde et permettent de s'affranchir de la détection des chaleurs en inséminant le même jour tous les animaux synchronisés. Même si cette technique est attrayante, elle ne donne pas un taux de fertilité stable sur le même élevage, ou sur le même lot. Cette grande disparité est liée au traitement hormonal utilisé lui-même et qui est étroitement lié au cycle de la vache ainsi que de son état corporel général, notamment à sa balance énergétique (**Grimard et al., 2003**).

De plus, l'utilisation d'hormones hétérologues, à action ovarienne directe présentent différents inconvénients tels que : la perte d'efficacité dans le temps, une stimulation supra-physiologique qui peut être délétère dans certains cas, et surtout un problème éthique posé par

l'obtention de certaines molécules qui sont du domaine des perturbateurs endocriniens (et qui se retrouveront présentes dans le lait et/ ou la viande) (**Derouin *et al.*, 2019**).

C'est en tenant compte de l'importance de l'alimentation dans l'amélioration des performances de la reproduction que nous avons décidé de mener ce travail de Master. Cette étude vise également à proposer et à expérimenter une alternative naturelle aux hormones de synthèse utilisées actuellement dans le processus de reproduction au sein de l'ITELV par un remplacement progressif de ces dites hormones à action ovarienne et/ou l'adaptation du protocole de synchronisation des chaleurs utilisé actuellement.

Notre approche souhaitée, si elle avait été menée à terme dans des conditions meilleures que celles actuellement vécues, à cause de la pandémie du Corona Virus, aurait constitué une première, car à notre connaissance très peu d'études dans ce sens sont actuellement en cours, afin de remplacer l'induction ovarienne par une induction hypophysaire (qui est encore à un stade de recherche), mais aucune ne propose un protocole basé sur une supplémentation alimentaire dans le schéma que nous proposons ici combiné à différents schémas de synchronisation, ce qui constitue sans équivoque l'originalité de ce travail de Master.

Notre étude propose dans un premier volet d'apporter des améliorations à la ration alimentaire journalière de la vache laitière en pré-synchronisation en faisant appel à des aliments riches en œstrogènes naturelles tels que les graines de lin et de soja, et en incluant à la ration journalière également la spiruline, une microalgue riche en nutriments et oligoéléments, et ce afin de booster la fertilité des vaches. Nous mettons l'accent sur le fait que ces trois suppléments d'aliments n'ont jamais été combinés ensemble dans aucune étude préalable.

Dans un second volet, un schéma de synchronisation inédit est proposé afin de pallier aux problèmes liés à l'utilisation d'hormones synthétiques pour l'induction des chaleurs.

# **Chapitre 1**

## **Physiologie et critères de la reproduction**

# I- Physiologie et critères de la reproduction

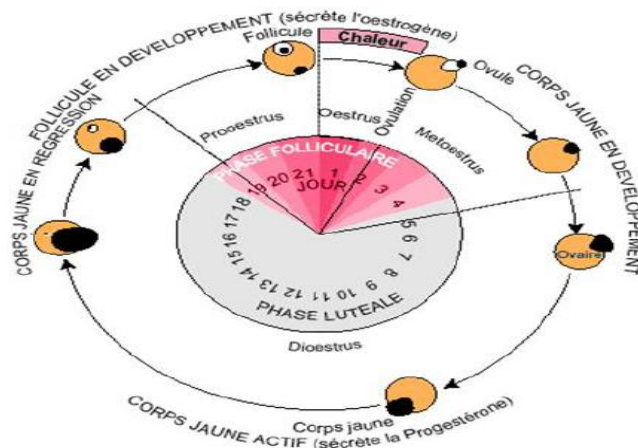
## I.1. Rappels de la physiologie du cycle sexuel de la vache

La vache est une espèce polyoestrienne de type continu avec une durée moyenne de cycle de 21/22 jours chez la femelle multipare, et de 20 jours chez la génisse (Larbi et Rouab., 2017). L'activité sexuelle débute à la puberté. Elle apparaît à l'âge de 10 à 15 mois selon les races laitières ou allaitantes et selon le poids corporel de chacune (Grimard et al., 2017).

Dès lors la génisse va présenter, de manière cyclique, des modifications de son comportement appelées **chaleurs**. Ce stade du cycle correspond à la période à laquelle elle peut être fécondée. En cas de gestation, cette activité cyclique est interrompue.

### I.1.A. Le cycle œstral

Il correspond à la période délimitée par deux œstrus consécutifs (Bonnes et al., 2006). L'expression de cet œstrus est déclenché par une hormone stéroïdienne : l'œstrogène, en particulier le 17  $\beta$ Estradiol (Lyimo et al. 2000; Nebel, Jones, et Roth 2011; M. Crowe et Mullen 2013). Cette phase dure de 6 à 30 heures et se caractérise par des manifestations extérieures (Belalia, 2018). L'ovulation a lieu 6 à 14 h après la fin de l'œstrus et est suivie par la formation du corps jaune et l'installation d'un état prégravidique de l'utérus (Derivaux et al., 1986) (voir figure 1).



**Figure 1:** Représentation schématique des différentes phases du cycle œstral chez la vache laitière (Wattiaux, 2006).

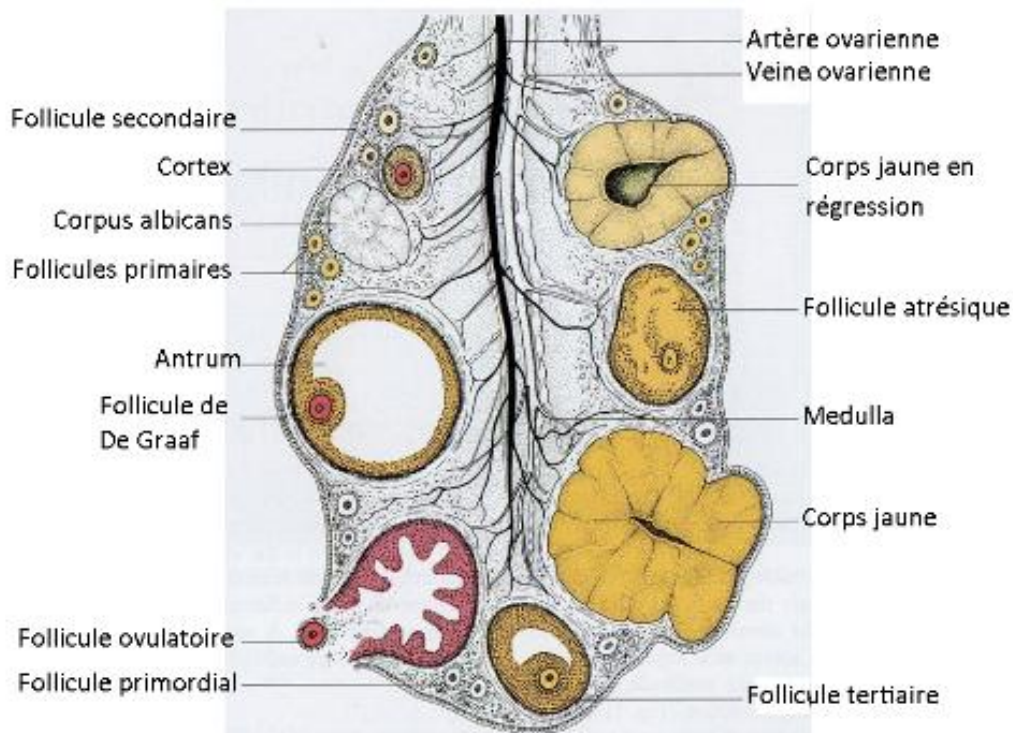


### I.1.B. Le cycle ovarien

Il correspond à l'intervalle entre deux ovulations successives qui diffère d'une espèce à une autre. Ce cycle peut être distingué en une phase lutéale et en phase folliculaire (**Bonnes, 2005**).

#### I.1.B.1. Ovogenèse

L'ovogenèse débute lors du développement embryonnaire et s'arrête à la prophase méiotique, laissant les ovocytes I entourés de cellules folliculeuses (figure 2)(**Germain, 2009**). Le nombre de ces follicules primordiaux diminuera avec l'âge. Au cours de la succession des cycles, seulement quelques centaines d'ovocytes primordiaux achèveront la première division de la méiose pour évoluer en ovocyte II avec émission du premier globule polaire, suivie de la seconde division méiotique (**Germain, 2009**). C'est au stade métaphase de cette division qu'a lieu l'ovulation, et la maturation finale se déroulera lors de la fécondation, avec émission du second globule polaire(**Bosio, 2006**).



**Figure 2:** Coupe longitudinale d'un ovaire de vache (**Konig et al, 2004**).

### ***I.1.B.2. La folliculogénèse***

C'est le processus qui permet, à partir d'un follicule primaire, la croissance et la différenciation de l'ovocyte et des cellules folliculaires (**Hopper *et al.*, 2015**). La croissance folliculaire terminale se réalise par vague folliculaire. Chaque vague peut être divisée en 3 temps : le recrutement, la sélection et la dominance(**Chicoineau, V., 2007**).

#### **➤ Le recrutement**

Le recrutement correspond à l'entrée dans la phase de croissance folliculaire terminale d'un petit groupe de follicules antraux de 2 à 4 mm de diamètre (**Picton *et al.*, 1990**) sous l'effet d'une augmentation de la concentration en FSH(**Fortune , 1994**).

#### **➤ La sélection**

La sélection du follicule dominant se fait 36 à 48h après le début de recrutement (**Bao *et al.*,1997**). Elle est liée à l'expression des récepteurs à la LH par ce même follicule(**Bao *et al.*,1998**).

#### **➤ La dominance**

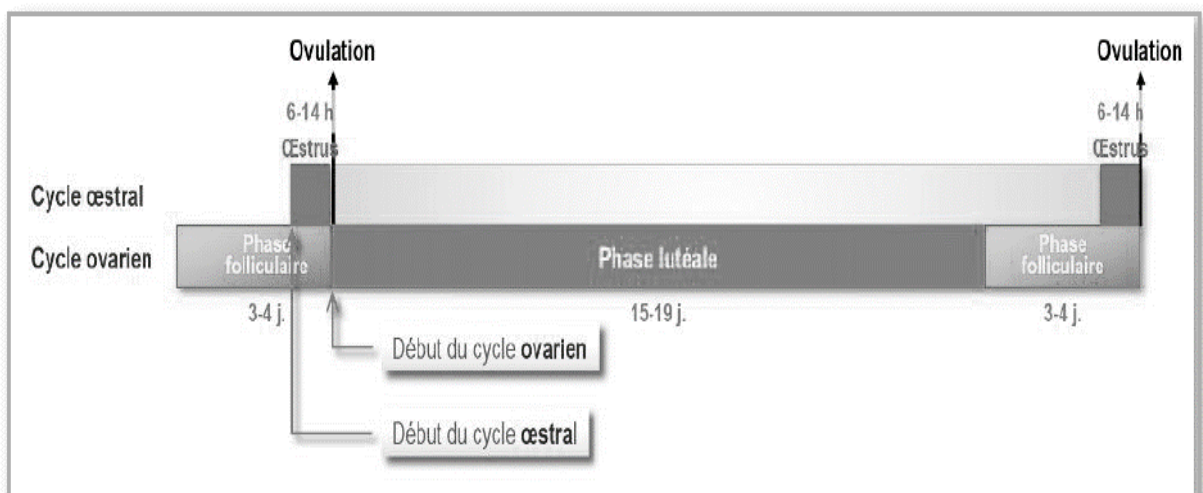
Elle correspond à la maturation du follicule dominant. Son devenir dépend du stade du cycle et la concentration en progestérone. En présence d'un corps jaune, la progestérone exerce un rétrocontrôle négatif sur l'axe hypothalamo-hypophysaire empêchant le pic de LH. De ce fait, le follicule dominant s'atrophie. En fin de cycle et suite à la lutéolyse, le rétrocontrôle négatif disparaît et autorise la survenue d'un pic de LH donnant lieu à l'ovulation du follicule de De Graaf (**Pontlevoy, 2017**). A ce stade, ce follicule a atteint une taille moyenne de 16 mm de diamètre (**Mauffré *et al.*, 2016**).

### I.1.B.3. La phase lutéale

Cette phase s'étend de l'ovulation jusqu'à la régression fonctionnelle du corps jaune (**Driancourt, 1991**). Elle dure en moyenne 17 jours chez la vache et correspond à la lutéogénèse et la lutéotrophie (**Larbi et Rouab., 2017**) (figure 3).

Cette phase lutéale se caractérise par la diminution de la production d'œstrogène ovarien mais parallèlement par une forte concentration de progestérone due à l'activité du corps jaune formé (**Larbi et Rouab., 2017**).

En cas de fécondation, le corps jaune persistera jouant un rôle important pour le maintien de la gestation. Dans le cas contraire, le corps jaune est dégradé par les prostaglandines 2 alpha sécrétées par l'endomètre (**Bouhazam et al., 2016**).



**Figure 3:** Comparaison des cycles œstral et ovarien de la vache (**Mauffré et al., 2016**).

## I.2. La régulation hormonale du cycle de la reproduction

Trois types d'hormones interviennent dans l'endocrinologie de la reproduction :

### I.2.1. L'hormone hypothalamique

Il s'agit de la GnRH, un décapeptide synthétisé dans les corps des neurones hypothalamiques. Elle est sécrétée de façon pulsatile (**Migaud et al., 2016**). Celle-ci stimule la synthèse et la sécrétion des gonadotrophines par l'hypophyse (**Bouligand et al., 2009**).

## **I.2.2. Les hormones hypophysaires**

C'est les hormones gonadotropes LH et FSH, de nature glycoprotéique et qui sont sécrétées par l'antéhypophyse.

### ***I.2.2.1. FSH (Hormone folliculo-stimulante)***

La FSH joue un double rôle : d'une part, elle contrôle le développement de l'ovaire, la croissance folliculaire et prépare l'action de LH ; d'autre part, elle stimule la synthèse des œstrogènes par les follicules (Casarini *et al.*, 2019).

### ***I.2.2.2. LH (Hormone lutéinisante)***

Elle agit soit sur le corps jaune en formation et la production de progestérone, soit sur le follicule dominant possédant des récepteurs à la LH pour stimuler sa maturation et par conséquent la production de l'E2 et l'ovulation (Pontlevoy *et al.*, 2017).

## **I.2.3. Les hormones stéroïdiennes**

### ***I.2.3.1. L'œstrogène***

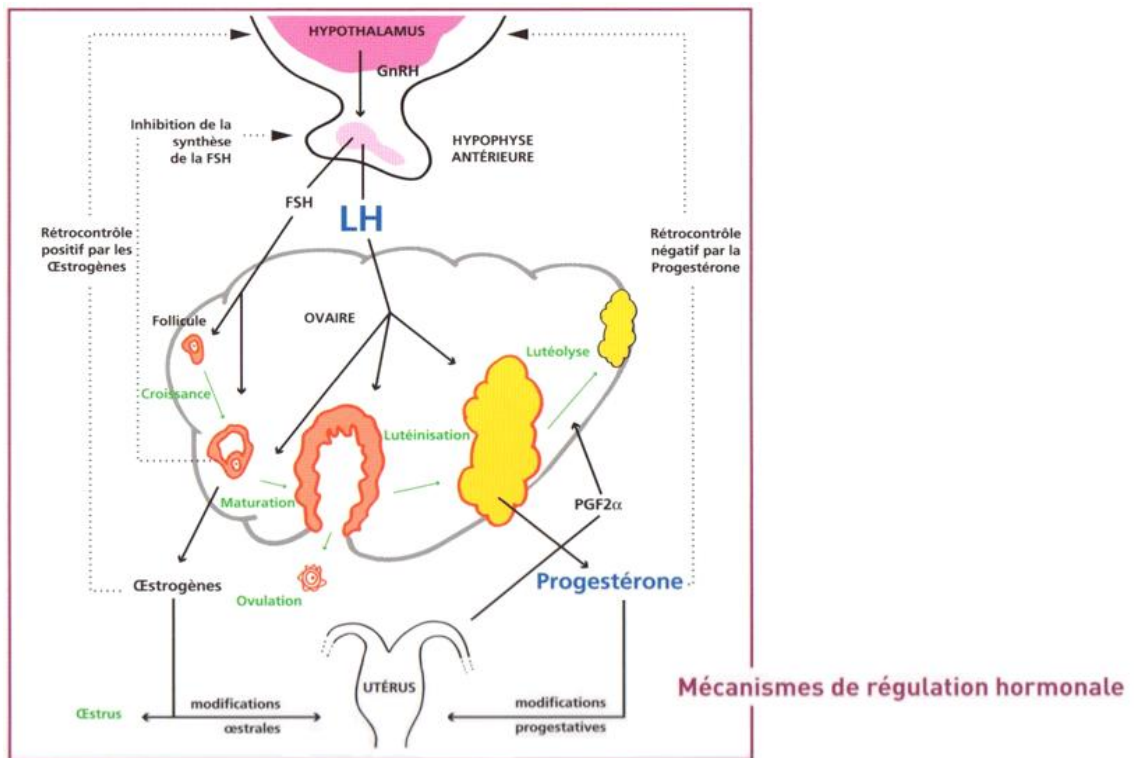
Pendant la phase folliculaire, les œstrogènes sont synthétisés par la granulosa et les cellules internes de la thèque dans un court laps de temps avec une décharge importante 24 heures avant l'ovulation. Le mécanisme implique à la fois un effet au niveau hypothalamique et hypophysaire. L'E2 à forte dose exerce un rétrocontrôle positif sur l'hypothalamus par la sécrétion massive de la GnRH et un rétrocontrôle positif sur l'hypophyse en potentialisant la sécrétion de la LH et FSH (Pontlevoy *et al.*, 2017).

### ***I.2.3.2. La progestérone***

Dans les ovaires, le site de la production de la progestérone est le corpus luteum (Heffner et Schust, 2010). Elle prépare le tractus génital à l'implantation de l'ovocyte fécondé (Mbaza, 2018). Elle exerce un rétrocontrôle négatif sur la fréquence de relargage de GnRH/LH conjointement avec l'œstradiol (Benhizia, 2016).

### I.2.3.3. La prostaglandine F2 alpha (PGF2 $\alpha$ )

La PGF2  $\alpha$  entre dans la régulation du cycle sexuel chez la vache. Elle est sécrétée par l'utérus à la fin de la phase lutéale et provoque la lyse du corps jaune (figure 4)(Point, 2007).



**Figure 4:** Régulation hormonale du cycle œstral (Chastant Maillard, 2010).

### I.2.4. Les maladies liées à la reproduction dans les troupeaux bovins (Voir l'annexe n°1)

## **Chapitre 2**

### **Taux et moyens de détection des chaleurs**

## II- Taux et moyens de détection des chaleurs

### II.1. Pourquoi s'intéresser à la détection des chaleurs

La détection des chaleurs constitue un enjeu important en élevage. Elle repose d'une part sur la méthode de détection mise en œuvre par les bouviers et d'autre part sur l'expression de l'œstrus par les vaches. Une mauvaise détection de celle-ci est l'une des raisons de manque de fertilité surtout que les performances de la reproduction des vaches ne cessent de se dégrader durant ces dernières années (1% de fertilité/an) (**Derradji, 2014**).

Ceci, intervient également entre autre suite à une diminution de la durée et de l'intensité d'expression et de manifestation des chaleurs (**Van Eerdenburg *et al.*, 1996; Bosio, 2006; Cutullic *et al.*, 2006; Ponsart *et al.*, 2006; DesCôteaux et Vaillancourt, 2012**).

Pour tout cela, les chercheurs accordent une importance capitale à ce problème qui est un facteur dominant, influençant les performances de la reproduction dans les troupeaux pratiquant largement l'insémination artificielle (**Disenhaus *et al.*, 2010**).

Il est nécessaire de noter l'importance de la reproduction sur la production totale d'une vache laitière (la somme de la production de toute les lactations) qui, pour qu'elle soit maximisée, la vache doit être saillie 80 à 90 j après le vêlage, afin d'avoir un veau et une lactation tous les 12 mois (IV-V) (**Derradji, 2014**).

Dans la détection des chaleurs, on s'intéresse beaucoup plus à deux paramètres : la sensibilité et la spécificité.

**La sensibilité** : aussi appelée efficacité ou taux de détection, correspond au pourcentage de femelles détectées en chaleurs. Un défaut dans celle-ci peut générer un décalage entre le vêlage et l'IA sans atteindre la fertilité (**Chanvallon *et al.*, 2011**).

**La spécificité** : sert à éviter les inséminations au mauvais moment. Un défaut dans celle-ci peut engendrer des frais supplémentaires pour l'éleveur, aussi peut rendre la détection de retour en chaleurs difficile et donc engendrer une baisse de la fertilité (**Chanvallon *et al.*, 2011**).

## **II.2. Moyens de détection des chaleurs**

L'agrandissement de la taille des troupeaux et une expression plus au moins courte et discrète des chaleurs ont rendu la détection délicate. De ce fait, les éleveurs ont opté pour d'autres outils pour mettre en évidence l'état œstral tout en se basant sur des paramètres de performances, qui nous permettront de préciser les qualités d'un dispositif et de les comparer entre eux (**Saint-Dizier, Aubriot, et Chastant-Maillard., 2011**).

### **II.2.1. Observation directe du comportement :**

Effectuée par l'éleveur, elle se fait de manière continue ou discontinue, tôt le matin et tard l'après-midi avec un taux de réussite de 90 à 100 % respectivement et un taux de réussite de la détection des chaleurs de 88 %. Généralement, les animaux utilisés pour réaliser cette tâche sont des mâles castrés ou vasectomisés (**Abdou Moussa, 2014**).

Quelle que soit la race, les signes de chevauchements sont fiables et très distinctifs de l'entrée en chaleur. Les comportements de léchages sexuels, et les têtes posées sur le dos sont des comportements très spécifiques de l'œstrus avec une spécificité supérieure à 95 % (**Blanc et al., 2010** ).

Les chaleurs sont marquées par une production accrue de mucus dans le vagin, avec les lèvres vulvaires généralement plus humides, enflées et rouges et une production de lait réduite (**Ball et al., 2004**).

### **II.2.2. Observation indirecte :**

Elle est basée sur l'utilisation de dispositifs ou de révélateurs de chevauchements.

#### **Les caractéristiques du dispositif idéal**

- L'identification des vaches doit être précise, permanente et encodée automatiquement (**Nebel et al., 2011**),
- Une haute spécificité ainsi qu'une haute sensibilité pour une détection fiable.
- Le dispositif idéal est solide, ergonomique, facile à installer et son coût doit être abordable (**Allain et al., 2012**).



### *II.2.2.1. Les dispositifs mécaniques:*

#### *a. Les colliers marqueurs*

Le principe du collier réside en l'utilisation d'un animal muni d'un marqueur gras à la gorge (figure 5). C'est soit une craie à visser soit un bloc marqueur qui laisse un trait coloré en redescendant des animaux qu'il chevauche (**Doucet et al., 2004**).



**Figure 5:** Bloc marqueur de la marque Raidex (à droite). Collier marqueur (à gauche)([www.raidex.de/fr/](http://www.raidex.de/fr/)).

#### *b. Craies ou peintures à la base de la queue :*

Une bande de couleur est déposée sur la croupe de la vache (figure 6). La disparition de ce marquage est considérée comme un signe d'acceptation du chevauchement (**Diskin et Sreenan., 2000**).

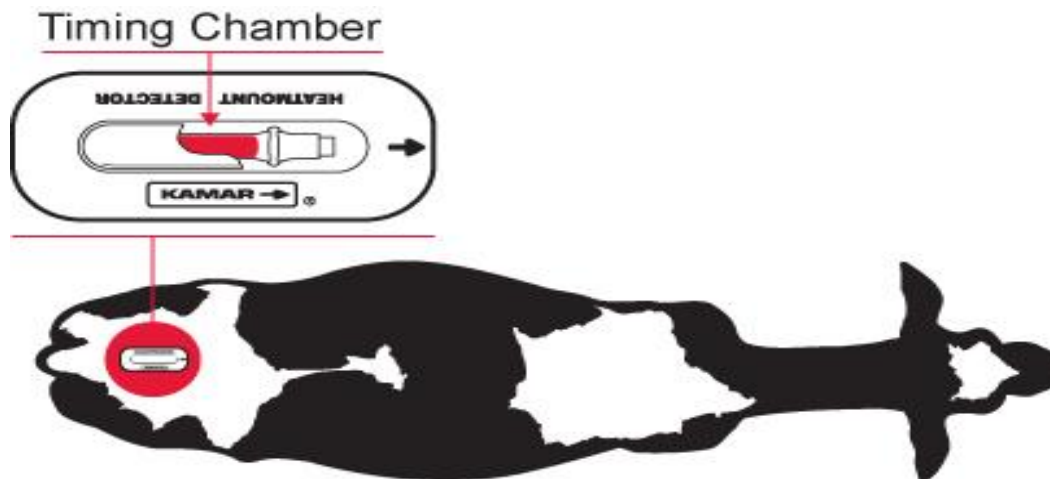
La peinture est étalée à la base de la queue et permet de détecter des vaches en chaleurs avec une précision de 97,6 % (**Xu et al. 1998**).



**Figure 6:** Crayons marqueurs Raidex ([www.raidex.de/fr/](http://www.raidex.de/fr/)).

*c. Capsules de peinture (Saint-Dizier, 2005)*

Les capsules du système Kamar (figure 7) se collent sur le sacrum de la vache, elles sont à usage unique. Elles renferment une poche transparente qui englobe une capsule opaque de peinture rouge. Lors de l'acceptation du chevauchement, une pression s'exerce sur la capsule qui finit par s'éclater et libérer son contenu dans un compartiment visible pour l'éleveur.



**Figure 7:** Capsules de peinture KAMAR ([www.kamarinc.com](http://www.kamarinc.com)).

*d. Vignettes semi-quantitatives à usage unique*

- **Patch EstroTECT:**

C'est un patch collant et couvert de gomme argentée fixé sur la croupe (figure 8). La surface argentée disparaît progressivement à chaque frottement suite aux montes successives des congénères, laissant apparaître une sous-couche fluorescente visible. Il a été confirmé que les fausses montes altèrent peu la gomme argentée, et donc peu de risque de fausses alertes.



**Figure 8:** Patch ESTROTECT (Vital concept agriculture).

Le tableau I ci-dessous donne un comparatif entre les différents détecteurs mécaniques de chevauchement.

**Tableau I** : Comparaison de la sensibilité des détecteurs mécaniques de chevauchement.

Les dispositifs mécaniques	Sensibilité	Références
<b>Colliers Marqueurs</b>	de 47 % à 87 %	Stevenson et Britt 1977; Fulkerson, Sawyer, et Crothers 1983; Foote 1975; Gwazdauskas et al. 1990
<b>Craies à la base de la queue</b>	de 44 % à 96 %	Macmillan et Curnow 1977; Fulkerson, Sawyer, et Crothers 1983; Sawyer, Russell-Brown, et Silcock 1986; Diskin et Sreenan 2000; Cavalieri, Eagles, <i>et al.</i> 2003.
<b>Capsules de peinture</b>	de 56 à 98 %	Williamson et al. 1972; Foote 1975; Diskin et Sreenan 2000; Saumande 2000; Holman et al. 2011; Valenza <i>et al.</i> , 2010.

### II.2.2.2. Les avantages et les inconvénients des dispositifs mécaniques

(Voir l'annexe n°2)

### II.2.2.3. Les dispositifs électroniques

Il s'agit d'un capteur de pression placé sur la croupe de l'animal. Lorsque ce capteur enregistre une pression d'une intensité et d'une durée précise, l'information est soit envoyée par radio-transmission à une unité centrale (système HeatWatch, figure 9) soit traitée par un programme associé au capteur de pression (DEC ET MountCount&trade), (**Saumande et al., 2000**).

#### *a. Dec*

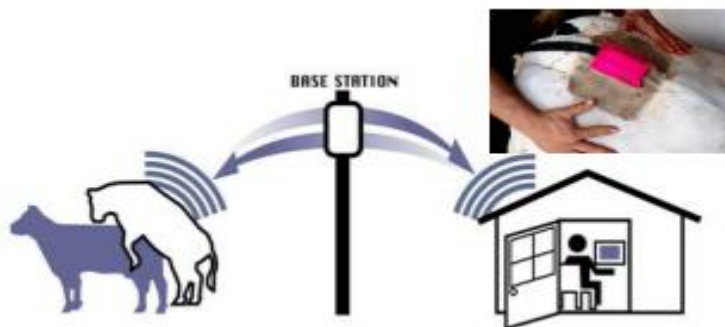
C'est un système sur lequel une lampe clignotante s'allume lorsqu'un chevauchement a lieu (**Saumande, 2000**).

### ***b. MountCount&trade***

C'est un système sur lequel 3 lumières de couleurs différentes s'allument en fonction du nombre de chevauchement en moins de 4 heures (Saumande, 2000).

### ***c. HeatWatch***

Ce système transmet les informations de l'identifiant, le logiciel indiquera qu'il est en œstrus si plus de trois chevauchements ont été enregistrés en moins de 4 heures (Allain *et al.*, 2012).



**Figure 9:** Principe du système HeatWatch(Allain *et al.*, 2012).

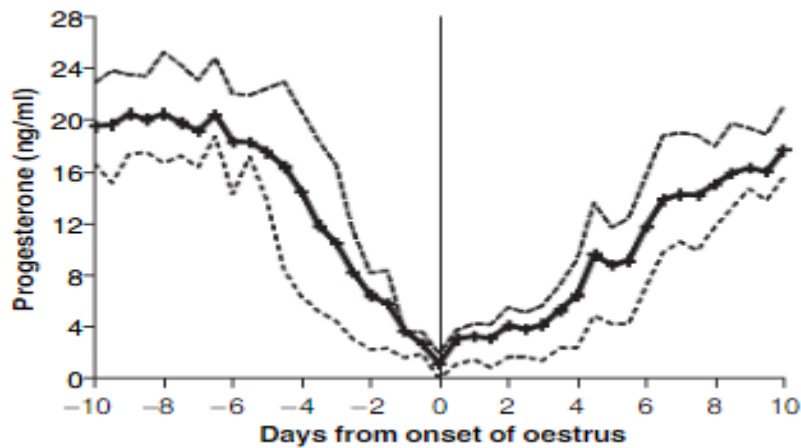
Les différents comparatifs entre les différents dispositifs électroniques sont donnés dans le tableau II :

**Tableau II:** Comparaison de la sensibilité des détecteurs électroniques de chevauchement.

<b>Les dispositifs mécaniques</b>	<b>Sensibilité</b>	<b>Références</b>
<b>HeatWatch</b>	91.7 %	<b>Xu <i>et al.</i>, 1998</b>
<b>DEC</b>	35.4 %	<b>Saumande, 2000</b>
<b>MountCount</b>	93.8 %	<b>Cavalieri, Flinker <i>et al.</i>, 2003</b>

### II.2.3. Détection des chaleurs par le dosage de Progestérone (P4)

Lorsqu'une vache est cyclée, une alerte en œstrus s'affiche en direct dès que le taux de P4 dans le lait chute en moyenne sous le seuil de 15 ng/ml, 5 ng/ml et 2 ng/ml (figure 10), avec une forte variabilité entre les vaches (écart-type de 11 à 18 heures selon le seuil de P4) ce qui laisse à l'éleveur 24 à 36 heures pour inséminer l'animal (Marie *et al.*, 2011).



**Figure 10 :** La concentration moyenne de progestérone (**en gras**) confirmée par la grossesse par rapport aux jours d'œstrus. Les 75 % et 25 % quartiles de la distribution des concentrations de P4 à chaque instant sont représentés par des (**lignes pointillées**). Le début d'œstrus a été défini comme la première diminution < 4 ng /ml de concentration de P4 (Friggens *et al.*, 2008).

### II.2.4. Mesure de la température corporelle

Chez la vache, l'œstrus peut être détecté grâce à la température corporelle. Cette dernière baisse deux jours avant le début des chaleurs et augmente de 0.5°C au moment du pic de LH préovulatoire (Allain *et al.*, 2012).

## **Chapitre 3**

# **Synchronisation des chaleurs chez les bovins**

### **III- Synchronisation des chaleurs chez les bovins**

#### **III.1. Procédé de synchronisation des chaleurs par induction hormonale**

##### **III.1.1. But de la synchronisation**

La synchronisation vise à regrouper les chaleurs, c'est-à-dire à déclencher l'œstrus à une même période chez plusieurs femelles, de manière à planifier, contrôler et programmer toutes les étapes de la reproduction à des moments propices pour l'éleveur (**Pellicer-Rubio et al., 2019**).

Les objectifs de la maîtrise des cycles sexuels tels que décrits par (**Derivaux, 1989**) sont divers :

- Faire coïncider les périodes de gestation et de parturition ;
- Faciliter la mise en pratique de l'IA ;
- Induire les chaleurs en toute saison ;
- Limiter les périodes improductives des vaches.

Les traitements de synchronisation des chaleurs chez les mammifères en général permettent, de rationaliser le travail au moment de la mise à la reproduction. Chez les bovins, après un traitement hormonal, les animaux sont inséminés sur chaleurs observées à l'aide des méthodes citées dans le chapitre II ou, inséminés à l'aveugle (**Grimard et al., 2003**).

##### **III.1.2. Moyens et méthodes zootechniques**

Les méthodes zootechniques provoquent les mêmes effets d'induction et de groupage des ovulations ou d'augmentation de la fertilité sans avoir recours aux traitements hormonaux. Parmi celles-ci nous avons :

###### ***III.1.2.1. Le flushing :***

Le flushing augmente le niveau énergétique de la ration temporairement afin de compenser les carences alimentaires d'un mauvais état corporel. Une perte de poids excessive affectera les performances de reproduction y compris le délai nécessaire à l'obtention d'une gestation. Elle est également à l'origine des mortalités embryonnaires (**Bosio et al., 2006**).

### ***III.1.2.2. l'effet mâle :***

C'est une pratique d'élevage qui a pour but l'avancement de la puberté et l'extériorisation des chaleurs des jeunes femelles (**Abecia *et al.*, 2016, Chasles *et al.*, 2017**). Elle sert également à mettre en place une reproduction sexuelle hors saison et à grouper les mises bas, tel que représenté sur la figure 12 pour les brebis mérinos par exemple (**Pellicer-Rubio *et al.*, 2007, Tournadre *et al.*, 2009**).

### ***III.1.2.3. Conduite d'élevage :***

**Fogwell *et al.*, 1986** ont montré que la précocité du sevrage améliore l'induction et la détection des chaleurs. Par contre, il semble que les chances de gestation chez les vaches soient peu dépendantes de cette précocité.

### ***III.1.2.4. Les traitements hormonaux***

#### ***À base de progestagènes:***

On en distingue trois types selon leur forme et leur voie d'administration.

**Le dispositif vaginal:** est constitué par un corps en silicone en forme de T contenant 1,94 g de progestérone naturelle, présent dans le marché sous le nom de CIDR (figure 11.a.) (**Dezaux P., 2001**).

**L'implant sous cutané :**Le nouveau protocole CRESTAR SO®: progestagènes sans œstrogène est une association d'un implant sous cutané de 3 mg de Norgestomet et d'une injection intramusculaire de 10 µg de buséréline au moment de la pose de l'implant (figure 11.b.).

**Les spirales vaginales :**c'est une lame métallique spiralée recouverte d'un élastomère en silicone imprégné de 1,55 g de progestérone. Ce dispositif est commercialisé sous le nom de PRID (figure 11.c.) (**Mestdagh *et al.*, 2008**).



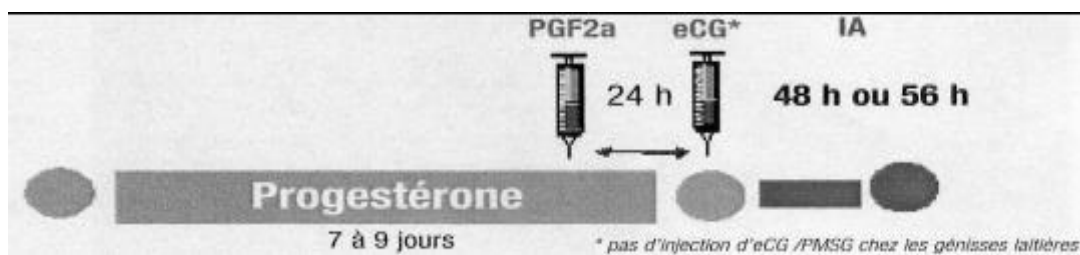


**Figure 11:** a. dispositif vaginal CIDR  
 b. implant sous cutané (Manuel de formation, 2018)  
 c. PRIDDELTA (à droite)(www.ceva-africa.com)

Les traitements à base de progestérone ont une activité lutéomimétique. Ils consistent en la mise en place puis le retrait d'un dispositif et sont complétés par une ou plusieurs injections afin d'améliorer leurs résultats en terme de synchronisation. Les injections qui peuvent les compléter sont: la GnRH, la PGF2 et l'eCG selon le protocole ci-dessous.

### III.1.3. Protocole de synchronisation des chaleurs

C'est un implant soit sous-cutané ou une spirale vaginale introduit pendant une période qui s'étend de 7 à 9 jours. Ces dispositifs libèrent des hormones à dose physiologique : de la progestérone (ou un analogue) inhibant ainsi la production de la GnRH par l'hypothalamus ce qui conduit au ralentissement de l'activité ovarienne. Au moment du retrait de l'implant, la concentration en P4 dans le sang chute. Des injections sont alors administrées comme celle de l'eCG, et l'effet FSH et LH de cette dernière hormone injectée 48 h ou 56 h avant l'IA va soutenir la croissance folliculaire terminale et booster la production endogène d'œstrogène ce qui va favoriser l'ovulation, tel que résumé sur la figure 12 (Aguer *et al.*, 1982).



**Figure 12:** Schéma du protocole de maîtrise des cycles à base de progestérone (Ponsart *et al.*, 2005).

### III.1.3.1. A base de prostaglandines :

La PGF<sub>2</sub> et ses analogues sont utilisés dans les traitements de maîtrise des cycles. Elle est naturellement synthétisée par l'utérus dans deux situations : A la fin du cycle œstral et à l'approche de la mise bas. Elle a une action lutéolytique et une action utérotonique. Les analogues ont essentiellement un rôle lutéolytique (**Gipoulou et al., 2003**), mais uniquement après le cinquième jour de développement du corps jaune, lorsque celui-ci est mature. Pour **Laverdière et al., 1994**, le cloprosténol possède un plus grand potentiel de synchronisation.

#### **Protocole :**

Une double injection de prostaglandine à 11 jours d'intervalle pour les génisses et 14 jours pour les vaches permet de synchroniser les chaleurs des femelles traitées, tel que mentionné sur la figure 14 (**Grimard et al., 2003; Hanzen et al., 2003**). L'intervalle entre l'injection et les chaleurs dépend du stade de la croissance du follicule. Ainsi la majorité des animaux traités expriment des chaleurs entre 48 h et 96 h après l'arrêt du traitement et peuvent être inséminés à l'aveugle après 72 et 96 h (**Grimard et al., 2003**).



**Figure 13:** Protocole de synchronisation à base de PGF<sub>2</sub>α (**Vaissaire et al., 2018**)

### III.1.3.2. A base de GnRH

La réponse à l'administration de la GnRH dépend du stade de la vague folliculaire au moment du traitement.

#### **Protocole (figure 14):**

Le protocole de maîtrise des chaleurs GPG ou d'OVSYNCH est une série de 3 injections associant la GnRH et la PGF<sub>2</sub>α suivie d'une IA systématique 12 à 18 heures après la seconde injection de GnRH.

-J0: Une première injection de GnRH, qui provoque l'ovulation ou la lutéinisation des follicules ovariens d'un diamètre supérieure à 10 mm; il s'en suit l'apparition d'une nouvelle vague folliculaire au bout de 48 heures environs, et la mise en place d'un corps jaune.

-J7: Une injection de PGF2  $\alpha$ , qui provoque la lutéolyse et permettant ainsi la croissance terminale du follicule dominant.

-J9: Une seconde injection de GnRH, qui provoque un pic de LH, déclenchant ainsi l'ovulation au bout de 20 à 24 heures en général (Laghrour W., 2012).

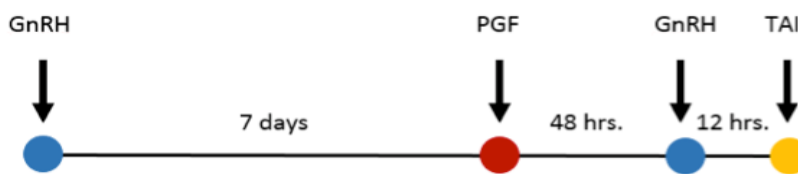


Figure 14 : Protocole associant GnRH - PGF2 -GnRH (GrimardetHumblot,2003).

## III.2. Facteurs influençant les performances de la reproduction

### III.2.1. Facteurs individuels

#### III.2.1.1. Production laitière

Lorsque la concentration en matière grasse est élevée, les taux de conception diminuent après IA. Cela suggère que le rendement laitier peut réduire voire limiter la conception des vaches (Stevenson *et al.*, 1983).

#### III.2.1.2. L'âge

Selon (Hanzen *et al.*, 1994), les génisses laitières sont habituellement plus fertiles que les vaches. Le prolongement de l'IV-V peut diminuer les performances reproductives. Cela est dû à la fréquence de pathologies chez les vaches (Opsome *et al.*, 2000), qui diffère en fonction de l'âge (Hanzen *et al.*, 1996).

### *III.2.1.3. La génétique*

L'héritabilité des performances de reproduction est jugée faible lorsqu'elle est comprise entre 0,01 et 0,05. Selon **Boichard (1988)**, la fertilité reste un caractère génétiquement d'importance non négligeable mais secondaire.

### *III.2.1.4. L'involution utérine*

La durée de l'involution utérine et cervicale est normalement d'une trentaine de jours (**Marion et al., 1968**). Cette involution ne peut réduire la fertilité qu'en présence de métrite chez les vaches (**Tennant et Peddicord 1968**).

### *III.2.1.5. Les facteurs pathologiques*

#### *a. Les chaleurs irrégulières*

**Humblot et Thibier, (1977)** ont constaté que les cycles courts qui surgissent au début du post-partum est un cas normal contrairement à ceux qui persistent (inférieurs à 10 jours). Ces mêmes auteurs, ont conclu en **1985** que l'excès de sécrétion d'œstrogène en est la cause.

#### *b. Les chaleurs régulières et le « repeat-breeding »*

**Thibier et al., (1976)** attribuent cette pathologie, à un dysfonctionnement de l'ovulation, qui arrive tôt ou tard par rapport au comportement œstral. Le taux de vaches repeat-breeding est faible chez les génisses, mais peut atteindre plus de 13 % chez les bovins adultes (**Hewet et al., 1968**).

#### *c. Les kystes ovariens*

Un kyste est une structure cavitaire remplie de liquide, mesurant plus de 25 mm de diamètre et qui persiste plus de 10 jours en l'absence de corps jaune (**Hanzen et al., 2008**). Les vaches présentant ces kystes sont soit en anoestrus, soit elles présentent des chaleurs silencieuses (**Beaudeau et al., 1994**).

### *III.2.1.6. Les facteurs liés au troupeau*

#### *a. La nutrition*

De nombreuses études chez les ruminants ont mis en évidence les interactions entre l'alimentation et la reproduction (**Short et Adams, 1988 ; Butler, 2000; Robinson et al., 2006 ; Chagas et al., 2007 ; Ben Salem et al., 2009**). Une bonne fertilité est généralement liée à un bon niveau de protéine, d'énergie, de fibre, de vitamines et de minéraux (**Robert et al, 1996**). Une carence en ces éléments est à l'origine d'un taux de fécondation très bas (**Bonnes et al., 2005**).

#### *b. La détection des chaleurs (Voir chapitre 2)*

#### *c. Le moment et la technique d'insémination*

Il est depuis longtemps recommandé pour obtenir une fertilité optimale de respecter un intervalle moyen de 12 heures entre la détection des chaleurs et l'IA (**Mac Millan et Watson 1975 ; Foote 1979**).

#### *d. Le type de stabulation*

La liberté de mouvement acquise par les animaux en stabulation libre favorise la manifestation de l'œstrus et sa détection (**Kiddy, 1977**), la réapparition précoce d'une activité ovarienne après le vêlage (**Kruif, 1977**) et limite l'incidence des pathologies du post-partum (**Bendixen et al., 1986**).

## **Chapitre 4**

# **L'alimentation et la reproduction chez la vache**

#### IV- L'alimentation et la reproduction chez la vache

L'alimentation est un facteur clé pour la réussite d'une bonne reproduction. Le faible état corporel des animaux est souvent attribué à l'intensification des élevages, ou à la forte exigence en matière de production laitière. Tous ces facteurs environnementaux reliés à la génétique même des bovins font que l'impact de la nutrition reste complexe et multifactorielle. Une récente étude australienne (**Rodney et al., 2018**) qui est une synthèse basée sur 39 études scientifiques réalisées sur des milliers de bovins souligne très bien l'importance et la qualité des matières grasses alimentaires et des balances énergétiques et protéiques dans l'amélioration de la fertilité. Dans ce qui va suivre, nous allons présenter uniquement les suppléments alimentaires utilisés dans le cadre de cette étude.

La spiruline (*Arthrospiraplancton*), cette cyanobactérie ou microalgue utilisée traditionnellement depuis plusieurs centaines d'années par certaines populations, et sur laquelle on ne tarit pas d'éloges, est qualifiée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) comme étant le meilleur aliment pour l'humanité au 21<sup>ème</sup> siècle et le plus complet du fait de sa composition et de sa richesse nutritionnelle exceptionnelle (**Audrey, 2016**).

Elle est ainsi composée de bêta-carotène (précurseur de la vitamine A), du fer, de la vitamine B12, de la vitamine E, de protéines, de minéraux et d'oligoéléments. Elle contient aussi de la chlorophylle et de la phycocyanine, un pigment aux vertus antioxydantes. De la famille des Linaceae, les graines de lin (*Linum usitatissimum* L) sont destinées à divers usages.

Elles sont composées d'environ 20 % de protéines, 30 % de NDF et 40 % d'huile. Les lipides totaux du lin sont composés de 55 % d'acide  $\alpha$  linoléique ; un acide gras polyinsaturé de la famille des oméga-3 qui est indispensable pour la santé humaine. La graine de soja (*Glycine max* L) de la famille des Fabacées, quant à elle a une particularité liée à son excellent profil d'acides aminés et à sa forte concentration en isoflavones et en protéines. Cette graine contient également 20 % d'huile riche en acides gras polyinsaturés.

En sus, le lin et le soja sont considérés comme des phytoestrogènes capable de produire des effets biologiques en se fixant sur les récepteurs aux œstrogènes de l'organisme grâce à leur structure chimique similaire à celle de l'œstradiol (**Savouret, 2005**).

## IV.1. Effets d'une supplémentation en nutriments sur la fertilité des vaches

### IV.1.1. La Spiruline(figure 15) :

La spiruline est un micro-organisme appartenant au groupe des cyanobactéries (l'ensemble des bactéries procaryotes) autotrophes. Plus communément, elle s'observe dans les eaux saumâtres, ainsi que dans les lacs salins de régions tropicales et semi-tropicales (Castenholz *et al.*, 2001).



**Figure 15:**Culture de la spiruline(Google images).

#### IV.1.1.1. Taxonomie (Voir l'annexe n°2)

#### IV.1.1.2. Cycle de reproduction (Voir l'annexe n° 2)

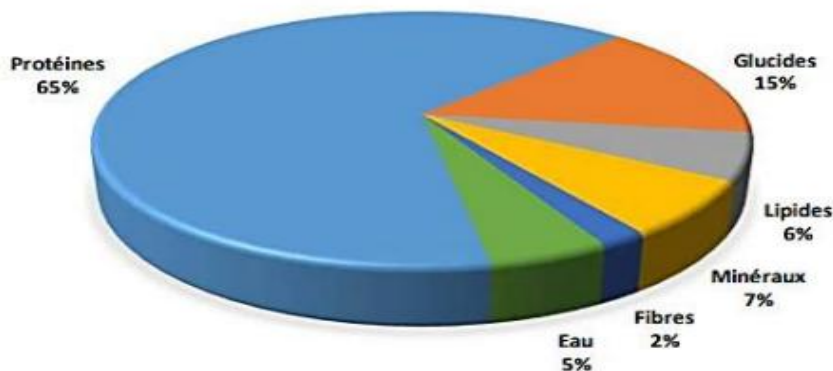
#### IV.1.1.3. Milieu de culture (Voir l'annexe n° 2)

#### IV.1.1.4. Composition de la spiruline

Il est bien établi que la composition biochimique de la spiruline est sensible aux variations des conditions de sa culture. La spiruline contient en poids sec jusqu'à 70 % de protéines, 15 à 25 % de glucides, jusqu'à 11 % de lipides ainsi que des vitamines, des



minéraux et des pigments(Sguera, 2008). Sa composition biochimique est donnée comme suit sur la figure 16 :



**Figure 16 :** Composition biochimique de la spiruline (Lecointre, 2017).

**a. Les protéines :**

La spiruline est un aliment très riche. Sa teneur en protéines oscille entre 50 et 70 % de son poids sec. Elle comporte la plupart des acides aminés notamment les acides aminés essentiels constituant près de 60% du poids total des protéines (Goulamabasse *et al.*, 2018).

**b. Les glucides :**

Ils représentent 15 à 25% de la matière sèche de la spiruline. Les parois cellulaires renferment les glucosamines et l'acide muramique associés à des peptides. Cette particularité rend le contenu cellulaire digestible (Goulamabasse *et al.*, 2018).

**c. Les lipides :**

Ils représentent 6 à 8 % du poids sec de la spiruline. La composition en lipides totaux se caractérise par un bon équilibre entre acides gras saturés et acides gras polyinsaturés incluant les  $\omega$ -3 et les  $\omega$ -6 qui préviendraient l'accumulation de cholestérol (Von der wied, 2011). Ces lipides contribuent au maintien de l'architecture cellulaire.

**d. Les minéraux :**

La spiruline contient tous les minéraux essentiels (7 %) tels que : le fer, le zinc, le magnésium, le calcium, le phosphore et le potassium (Goulamabasse *et al.*, 2018).

#### e. Les vitamines:

- **La vitamine A :** la vitamine A est incontestablement la plus importante pour la croissance, la santé et la reproduction des ruminants. Une carence en cette vitamine bloque les cycles ovariens, entraîne des chaleurs discrètes, de la mortalité embryonnaire et des avortements (**Wolter, 1988**).
  - **La bêta-carotène :** la  $\beta$ -carotène est le précurseur de la vitamine A, E et D. Elle influence la fertilité et la fécondité des vaches (**Goulamabasse et al., 2018**).
  - **La vitamine D :** elle intervient dans le métabolisme du calcium et du phosphore et donc sur le développement du squelette du fœtus (**Meyer, 2009**).
  - **La vitamine E :** elle agit comme antioxydant en coopération étroite avec le Sélénium, oligo-élément, qui se trouve à l'intérieur de la cellule (**Pharazyn et al., 1990**). La combinaison des deux dans la ration des vaches laitières a diminué l'incidence des rétentions placentaires (**Brisson et al., 2003**). La vitamine E chez les animaux affecte les niveaux de prostaglandine (PGE2 et PGF2) de manière inverse ; c'est-à-dire que l' $\alpha$ -tocophérol inhibe la synthèse des prostaglandines et diminue ainsi l'agrégation plaquettaire (**Pryor et al., 2012**).
  - **La vitamine C :** elle intervient dans le fonctionnement du corps jaune et dans la délivrance.

#### f. Les pigments :

La spiruline est riche en pigments responsables de sa couleur. Les principaux pigments sont la phycocyanine et la chlorophylle.

✓ **La phycocyanine :** La phycocyanine, seul colorant bleu alimentaire naturel, c'est le pigment le plus abondant de la spiruline. Elle représente 10 à 11 % de la spiruline. Sa structure lui confère des propriétés antioxydantes, anti-radicalaires et détoxifiantes. La phycocyanine stimulerait également la production des globules rouges et des globules blancs (**Charlemagne, 2008**).

✓ **La chlorophylle :** La chlorophylle permet d'oxygéner l'organisme, de le désintoxiquer et surtout de maintenir l'équilibre acido-basique. C'est le pigment responsable de la coloration verte de la spiruline (**Charlemagne, 2008**).

✓ **Les caroténoïdes :** Le  $\beta$ -carotène représente 56 % des caroténoïdes totaux de la spiruline, le reste étant composé principalement de physoxanthine et de cryptoxanthine. Ces nutriments travaillent en synergie pour lutter contre les radicaux libres. Ils participent également à la croissance et au développement de l'individu (**Charlemagne, 2008**).

#### **IV.1.1.5. Spiruline à usage animal et humain**

La spiruline est utilisée comme complément nutritionnel en aquariophilie, en aquaculture et en agroalimentaire pour des effets très spécifiques. Elle est utilisée pour :

##### **□ Augmenter la pigmentation :**

- En aquaculture pour améliorer la pigmentation des crevettes et des poissons (**Regunathan et Wesley 2006**).
- En agroalimentaire pour rendre les œufs et la chair de poulet plus attrayants au consommateur (**Sujatha et Narahari 2011**).

##### **□ Favoriser la croissance :**

Selon **Nedeva et al. (2014)**, l'ajout de cette cyanobactérie dans le composé alimentaire du porc en croissance a augmenté l'intensité de sa croissance de 12.5 % à 14.25 %.

##### **□ Renforcer les défenses immunitaires :**

Il a été prouvé que la spiruline est un puissant immuno-stimulateur. En effet elle augmente l'activité phagocytaire des macrophages, en provoquant l'accumulation de cellules NK dans les tissus, en stimulant la production d'anticorps et de cytokines et en activant et mobilisant les cellules T et B (**Mao et al., 2000; Khan et al., 2005; Gad et al., 2011**).

Une étude *in vivo* a dévoilé qu'un apport de la spiruline (800 mg/kg) pendant 3 jours dans le programme alimentaire des souris souffrant de candidose systémique et de cancer du sein augmenterait les gènes codant pour l'IL-17, le TNF- $\alpha$  et l'IFN- $\gamma$ . Ceux-ci auraient des effets tumoricides. En parallèle, elle réduirait l'expression des gènes codant pour IL-4 et IL-10 (figure 19), (**Shokri et al., 2014**).

#### □ Améliorer les performances des animaux :

L'ajout de la spiruline dans la ration alimentaire est une pratique courante chez les éleveurs de poules car elle participe à la ponte d'œuf d'une qualité nettement supérieure (**Casal, 2019**). Elle est aussi utilisée comme additif à la nutrition des taureaux reproducteurs et les chevaux de course.

#### □ L'effet hypolipidique et hypoglycémiant :

En 2014, une étude publiée dans le « *Journal of Science Food and Agriculture* », montrait qu'une consommation de 1g/j de spiruline diminuait les taux de cholestérol total tout en permettant une conservation de bonne concentration du sang en « bon cholestérol », cet effet était particulièrement important sur les taux sanguin de triglycérides. Ces résultats sont en parfaite harmonie avec ceux de **Gupta et al, 2010**, qui ont constaté eux aussi que la spiruline régule le taux de cholestérol et les triglycérides sanguins en abaissant le taux de glycémie et améliore la résistance à l'insuline.

□ **L'effet anticancéreux** : la spiruline peut apporter un effet anticancéreux grâce à ces composants :

- Le calcium-spirulan, en inhibant l'invasion tumorale avec une diminution du nombre de colonies, il empêche l'adhésion tumorale (**Ismail et al, 2009**).

- Le Stat3 (activateur de la transcription) ce qui inhibe la progression des tumeurs (**Saini et al, 2013**). Il bloque aussi les voies de signalisation surexprimées lors des cancers (**Saini et Sanyal, 2012**).

- Les polysaccharides qui améliorent l'activité enzymatique des endonucléases et les enzymes réparatrices des dommages de l'ADN.

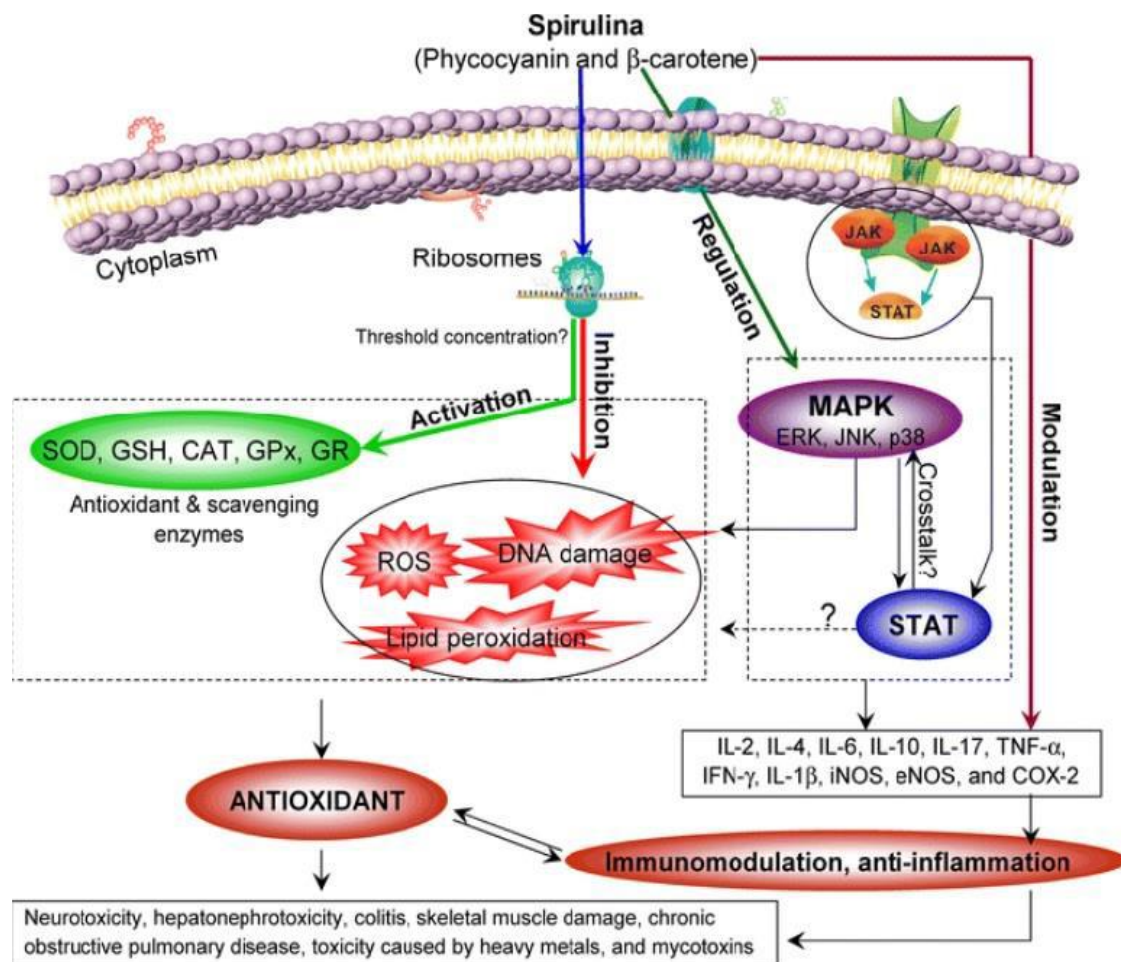
#### □ L'effet antioxydant :

**Kim et al. (2010)** ont étudié les effets bénéfiques de la spiruline sur la peroxydation des lipides tissulaires et les dommages oxydatifs de l'ADN chez les lapins blancs de la Nouvelle Zélande hypercholestérolémique. Cette hypercholestérolémie est induite par un régime riche en cholestérol (HCD) pendant 4 semaines. Celui-ci a été complété avec de la spiruline (1 ou 5 %, w/w) pendant 8 semaines. Les auteurs ont observé une atténuation de la peroxydation

lipidique induite par le HCD grâce à la spiruline. En outre, le niveau de dommage de l'ADN dans les lymphocytes était réduit substantiellement.

□ **L'effet anti-inflammatoire :**

Une induction de colite a été faite chez des rats afin de prouver l'effet anti-inflammatoire de la phycocyanine (150, 200 et 300 mg/kg par voie orale) administrée 30 minutes avant cette induction (**González et al., 1999**). Les chercheurs ont remarqué que l'activité de la myéloperoxydase a été augmentée dans le groupe témoin après 24 h de l'inflammation, contrairement à ceux exposés à la phycocyanine. De plus, des études histopathologiques et ultrastructurales ont montré une réduction, dans une certaine mesure, des lésions du côlon chez les rats traités à la phycocyanine (figure 17).



**Figure 17:** Mécanisme de l'activité antioxydante, immunomodulatrice et anti-inflammatoire de la Spiruline (**Goulamabasse, 2018**).

#### **IV.1.2. Les phytoestrogènes**

Les phyto-œstrogènes sont des composés présents dans plusieurs végétaux et partageant des structures similaires avec les œstrogènes. Ces trois principaux groupes sont les isoflavones, les lignanes et les coumestans et constituent la source alimentaire la plus importante de phyto-œstrogènes pour l'homme, le bétail et les rongeurs (**Cederroth *et al.*, 2011**).

Les fèves de soja et leurs produits dérivés contiennent une concentration élevée en isoflavones. Les phyto-œstrogènes de la famille des lignanes se retrouvent principalement dans les graines entières, particulièrement les graines de lin. Les lignanes présentes principalement dans les graines de lin et les isoflavones contenues dans les fèves de soja se lient aux récepteurs des œstrogènes ; ils exercent un faible effet œstrogénique au niveau des tissus cibles, selon le site d'action, le niveau d'œstrogènes endogènes et le niveau des récepteurs.

Les lignanes augmentent la synthèse de la protéine de transport des hormones sexuelles (SHBG) impliquée dans la liaison et la disponibilité des stéroïdes sexuels (**Dodin *et al.*, 2003**).

Les phyto-œstrogènes ont un effet protecteur sur le risque de cancer de l'endomètre. Ceci est lié aux propriétés des phyto-œstrogènes elles-mêmes qui peuvent agir comme antioxydants, antimutagènes, anti-angiogénique et pro-apoptotique (**Jefferson *et al.*, 2011**).

De plus, les phyto-œstrogènes réduisent le cholestérol total et améliorent la fonction cardiaque (**Desmawati *et al.*, 2019**).

##### **IV.1.2.1. Les graines de lin** (Voir l'annexen°4)

###### **IV.1.2.1.1. Historique** (Voir l'annexe n°4)

###### **IV.1.2.1.2. Taxonomie** (Voir l'annexe n°4)

###### **IV.1.2.1.3. Effets sur les performances zootechniques**

Les graines de lin améliorent les paramètres de santé et de fertilité animale et confèrent aux produits des animaux consommés par l'homme une meilleure qualité nutritionnelle : viandes, beurre, lait, fromages et œufs (**Renouard, 2011**).

La supplémentation lipidique à la ration de la vache laitière accroît sa densité énergétique (Ferlay *et al.*, 2013), et augmente le nombre et la taille du follicule dominant ainsi que la concentration plasmatique en P4, la réduction de la sécrétion de prostaglandines et l'allongement de la durée de vie du corps jaune (Staples *et al.*, 1998).

Cet effet dépend de la teneur en AG dans ces lipides. Petit *et al.*, 2006 ont confirmé que l'apport de l'ALA (sous forme de graines de lin) réduit le taux de PGF2 $\alpha$  sécrété et augmente celui de la conception.

#### **- Effet anti-tumoral :**

L'effet anti-tumoral de la graine de lin et ses composants a été démontré d'abord, par ces lignanes qui ont atténué la tumorigenèse par une réduction de la prolifération cellulaire et de l'angiogenèse, ainsi que par une augmentation de l'apoptose via la modulation des voies de signalisation des récepteurs aux œstrogènes et des facteurs de croissance. Ensuite par l'ALA qui a réduit de 33% la croissance des tumeurs mammaires par rapport au groupe témoin (Sharma *etal.*, 2014).

#### **- Effet sur les maladies cardiovasculaires :**

Les graines de lin peuvent offrir une protection contre les cardiopathies ischémiques grâce à l'ALA en améliorant les réponses de relaxation vasculaire et en inhibant l'incidence de la fibrillation ventriculaire (Sharma *et al.*, 2014).

#### **- Effet anti-inflammatoire :**

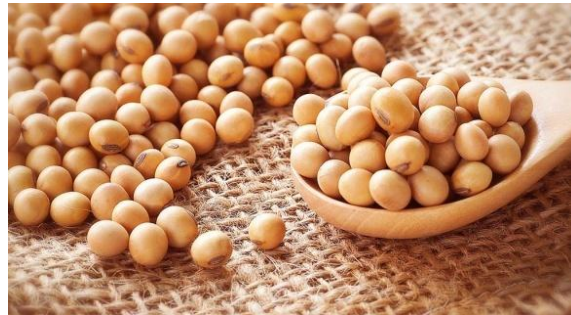
Les mucilages contenus dans les graines de lin prodiguent un effet calmant et anti-inflammatoire réduisant l'irritation du colon dans des affections comme les colites, l'inflammation intestinale et les hémorroïdes (Iserin, 2001 ; Halligudi, 2012).

#### **Autres effets des composants du lin**

L'acide  $\alpha$ -linoléinique et l'acide linoléinique présents dans les graines de lin aident à réduire les problèmes digestifs et de peau chez les animaux (Jhalla et Hall, 2010).

#### **IV.1.2.2. Les graines de soja**

Le soja, espèce *Glycinemax*(L.) Merrill, est une plante herbacée annuelle, velue, de forme presque sphérique, est généralement jaune, certaines variétés sont noires, brunes ou vertes (figure 18).



**Figure 18:** Les graines de soja *Glycinemax*L. (Google images)

#### **IV.1.2.2.1. Historique (Voir l'annexe n°4)**

#### **IV.1.2.2.2. Taxonomie (Voir l'annexe n°4)**

#### **IV.1.2.2.3. Composition des graines de soja (Voir l'annexe n°4)**

#### **IV.1.2.2.4. Potentiel nutritionnel des graines de soja**

L'importance du soja est due à sa nature de plante légumineuse et oléagineuse au même temps, ainsi qu'à la qualité nutritionnelle de ses graines et la diversité de leurs produits dérivés (Labat *et al.*, 2013).

La consommation de phyto-œstrogènes dérivés du soja peut affecter les taux de lipoprotéines plasmatiques (baisse du cholestérol LDL et augmente le cholestérol HDL), réduire les taux de triglycérides dans le plasma. Ces phyto-œstrogènes inhibent les LDL oxydés et abaissent la pression artérielle et la protéine C-réactive (Anthony *et al.*, 2014).

Les travaux de (Desmawati et Sulastri 2019), ont rapporté qu'une administration de 100 mg d'isoflavones par jour chez les femmes ménopausées peut réduire les symptômes vasomoteurs.

Et d'après (Adlercreutz *et al.*, 1992), les isoflavones régulent les taux plasmatiques de globuline responsable de la liaison des hormones sexuelles (SHBG). Les isoflavones



contribuerait également dans l'empêchement des attaques des agents pathogènes (**Lozovaya et al., 2007**).

Une étude menée par (**Sharpe, 2002**) a dévoilé qu'un apport journalier en soja pendant 6 semaines chez les marmousets a augmenté légèrement la testostérone néonatale, le nombre de cellules de Sertoli, le nombre de cellules de Leydig et le poids des testicules chez l'adulte.

Des études épidémiologique suggèrent que la consommation de produits à base de soja peut être associée à une réduction du risque de développement du cancer du sein ainsi qu'une réduction de la mortalité et de la récurrence pour les femmes atteintes d'un cancer du sein œstrogéno-dépendant (**Wu et al., 2013**).

# **Approche expérimentale**

## Objectifs et intérêt de cette étude

Le présent travail a pour vocation de porter un intérêt potentiel sur quelques suppléments alimentaires parmi les plus couramment utilisés autant chez l'homme que chez l'animal, à savoir la spiruline, les graines de lin et de soja.

En futurs biologistes que nous sommes, nous allons, dans cette présente recherche, nous attacher à la valorisation des substances bioactives naturelles contenues dans les trois aliments cités précédemment pour tenter :

- ✓ de voir comment s'opère leurs supplémentations dans un groupe d'individus animaliers ;
- ✓ quels sont leurs principaux impacts sur l'état général des animaux
- ✓ quel est, à posteriori, l'effet phyto-ostrogénique synergique de ces graines couplé avec celui de la spiruline sur les performances chez les vaches laitières aussi bien sur le plan de la reproduction, mais aussi sur la production.

Dans un deuxième lieu, nous montrerons que l'intérêt du recours à ces compléments réside, entre autres, dans le choix du schéma de synchronisation le plus adapté et dans la diminution de l'apport en hormones synthétiques en tenant compte des hormones naturellement contenues dans les aliments ajoutés.

Tous ces bienfaits sus-cités ne vont pas sans rappeler l'impact concluant de la spiruline, d'une part, sur la santé publique notamment dans son rôle actif dans la diminution des perturbateurs endocriniens et d'une autre part sur l'économie à long terme compte tenu de « la rentabilité notoire » que sa culture et sa supplémentation dans les marchés à forts potentiels de croissance peuvent offrir tant pour les industriels que pour les éleveurs.

En résumé nous pouvons mettre ces objectifs comme suit :

- 1) Etudier l'effet de la supplémentation de la spiruline et l'effet phyto-ostrogéniques des graines ajoutées sur les performances de reproduction et la production laitière.
- 2) Choisir le schéma de synchronisation le plus adapté.
- 3) Diminuer l'apport en hormones synthétiques en tenant compte des hormones naturelles contenues dans les aliments.
- 4) Impact sur la santé publique : diminuer les PE.

- 5) Impact économique à long terme : en faisant la culture de la spiruline dans les fermes
- 6) Impact social : en réapprenant aux consommateurs de consommer des produits goûteux et de qualité, changeant ainsi les habitudes de consommation des individus.

Pour réaliser ces objectifs, un état des connaissances scientifiques sur l'apport de la Spiruline en nutrition animale s'est naturellement imposé (l'étude de sa biologie, sa composition et ses aspects nutritionnels), ce qui a été rapporté dans la partie théorique.

Afin de réaliser ce travail, nous nous sommes appuyées sur plusieurs documents scientifiques relativement récents. Une sélection pertinente d'articles accessibles sur la toile nous a permis- notamment grâce et à cause de la pandémie du Covid 19- d'atteindre ces objectifs. Malheureusement, et pour les mêmes raisons, nous n'avons pas pu mener à terme cette partie expérimentale à cause de la situation sanitaire que nous vivons actuellement. Toutefois, nous avons veillé à présenter cette partie qui –même si elle est hypothétique- elle a été réalisée dans le respect total de la démarche scientifique et toutes les hypothèses émises sont fondées et appuyées par des références scientifiques solides.

### **Remarque importante**

Vu la nouveauté du sujet, et le fait que très peu d'équipes de recherches se sont attelées à l'étude d'une supplémentation alimentaire avec la spiruline, le lin et le soja combinée à différents protocoles de synchronisation visant à diminuer l'apport hormonal exogène, et vu les conditions sanitaires spécifiques liées au Covid 19, qui nous ont empêchées de suivre les expériences, il est impératif de souligner que la stratégie expérimentale exposée dans ce manuscrit est innovante et fera l'objet d'une ultérieure étude dès que les conditions le permettront.

Tout plagiat de ce schéma expérimental, et/ou des hypothèses émises ainsi que la conduite des expériences sera dénoncé systématiquement et les mesures nécessaires seront prises auprès des instances compétentes.

## **I. Approche expérimentale proposée**

### **I.1. La zone de l'étude :**

La station de démonstration et de production de semence (FDPS) est une entité de l'Institut Technique des Elevages d'Alger (ITELV). Un établissement public créé par décret exécutif n° 99/42 du 13 février 1999 situé à Baba Ali dans la commune de Birtouta à 29 km d'Alger.

### **I.2. Conduite de l'alimentation :**

L'alimentation est composée de 6kg/vache/jour de concentré VLB 17, foin d'avoine et de pâturage. La distribution des aliments se fait manuellement au niveau des auges collectives.

### **I.3. Conduite de la reproduction :**

Dans la ferme de Baba Ali, la reproduction est assurée essentiellement par insémination artificielle (IA). Le diagnostic de gestation est programmé à 30 jours après l'IA et il est affirmé par une échographie. Les événements de la reproduction de leurs animaux sont archivés dans un registre : dates des chaleurs, dates des IA, dates de vêlage et dates de tarissement.

### **I.4. Conduite de la traite :**

Elle se fait tous les jours à raison de deux traites par jour, habituellement espacées de 12 heures à l'aide d'une machine de traite, le lait est transféré mécaniquement vers une cuve réfrigérée.

La machine indique le numéro de chaque vache et la quantité individuelle de lait produite.

### **I.5. Matériel biologique :**

Notre étude porterait sur un effectif total de 30 vaches laitières de race Prim'Holstein. Les vaches sont identifiées par des étiquettes fixées à l'oreille. Leurs poids varient entre 500 et 650 Kg et ne présentent cliniquement aucune pathologie.

Trois lots de vaches (10 chacun) auraient été synchronisés selon un protocole adopté par le vétérinaire de la ferme.

## **II. Matériels et méthodes**

### **II.1. Matériels pour la synchronisation**

- L'applicateur formé d'un tube en matière plastique ;
- Le dispositif PRID DELTA contenant de la progestérone
- La prostaglandine : Enzaprost laboratoire CEVA
- La PMSG : Synchro-part laboratoire CEVA;
- Des seringues jetables.

### **II.2. Matériels pour l'insémination artificielle**

- Une pince Brucelle pour prélever les paillettes;
- Une gaine protectrice qui permet de fixer la paillette à la seringue d'IA;
- Un pistolet d'IA;
- Une paire de ciseaux pour sectionner le bout serti des paillettes ;
- Un thermos avec de l'eau tiède pour décongeler la semence et un testeur de température ;
- Une cuve d'azote liquide contenant les paillettes;
- Un gel lubrifiant;
- Des gants pour la fouille transrectale ;
- Des serviettes pour essuyer les paillettes de semences.

### **Les analyses sanguines**

Elles seraient faites avant, pendant et après la supplémentation afin de voir son impact sur les différents paramètres biochimiques et hormonaux.

- Analyses biochimiques  
Les paramètres biochimiques des vaches laitières

<b>Paramètre biochimiques</b>	<b>Valeurs de références (Sawadogo et al, 1991)</b>
Cholestérol (mmol/l)	2.3 – 3.0
Urée (mmol/l)	3.8 – 6.5
Albumine (g/l)	27.7 – 40.4
Protéines totales (g/l)	59.5 – 80
Calcium (mmol/l)	2.2 – 2.7
Magnésium (mmol/l)	0.8 – 1.05
Phosphore (mmol/l)	1.25 – 2.83
Glycémie (g/l)	0.4 – 0.7
Alanine aminotransferase U/l	10 – 43
Triglycérides mg/g	<10

- **Analyses hormonales**

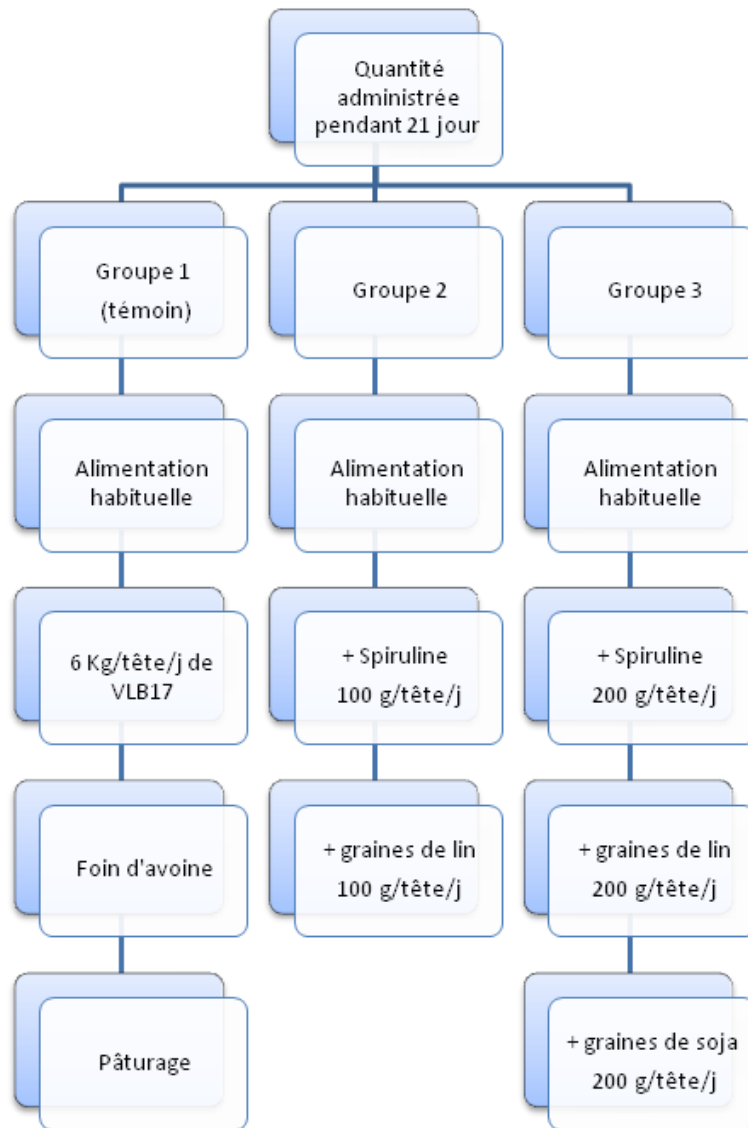
- Progestérone
- Prolactine
- Œstrogène
- Prostaglandine

**Contrôle de qualité du lait :**

Quelques échantillons devraient être analysés pour les paramètres suivants : Les matières grasses, taux protéiques, lactose, taux butyreux et le pH.

**II.3. Méthodes**

Les trois groupes de vaches allaient subir une synchronisation des chaleurs après être nourries comme suit :

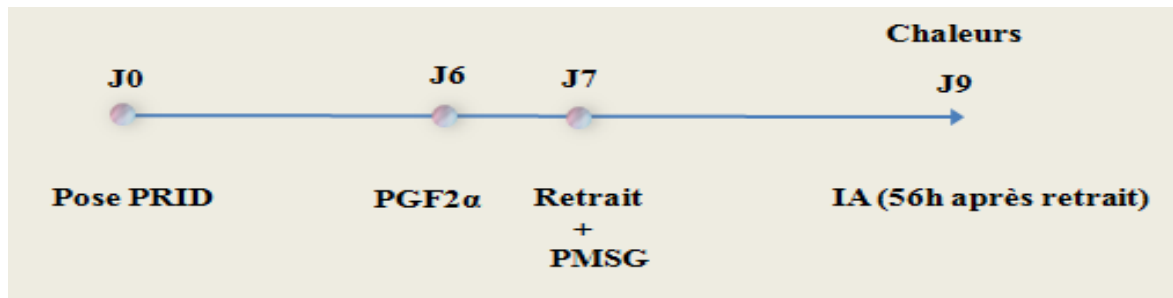


## Le déroulement de notre étude

### Groupe G1 :

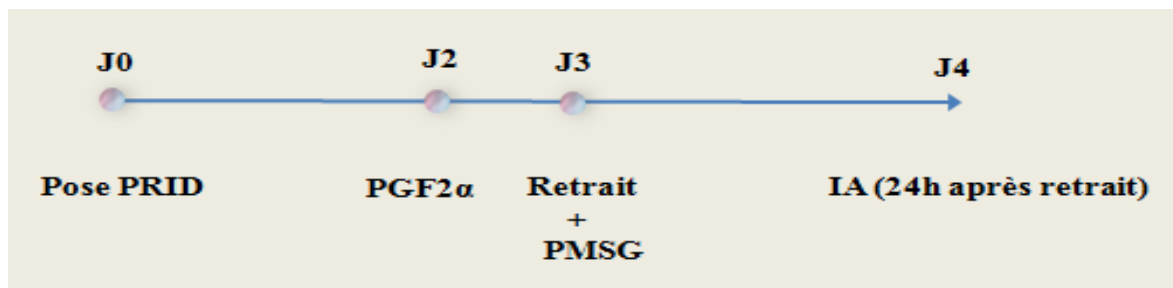
Le G1 considéré comme groupe témoin s'exposerait au régime alimentaire et au schéma de synchronisation habituel : 6kg de concentré VLB17, foin d'avoine et pâturage pendant les 21 jours de la supplémentation alimentaire ; selon le schéma de synchronisation suivant :





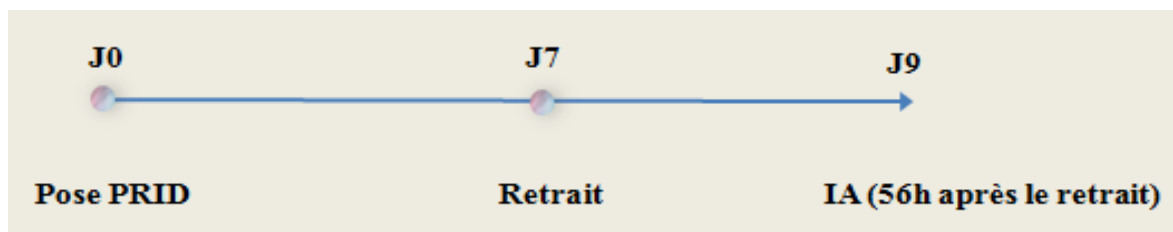
### Groupe G2 :

Nous comptons compléter le G2 par 100g/j/tête de spiruline et 100g/j/tête de graines de lin pendant 21 jours. Il subirait un schéma de synchronisation réduit, proposé comme suit :



### Groupe G3 :

Nous projeterions de compléter le G3 par 200g/j/tête de Spiruline ; de 200g/j/tête de graines de lin et de 200g/j/tête de graines de soja pendant 21 jours. Un schéma de synchronisation sans injection d'hormones serait adopté pour ce dernier groupe, comme suit :



## II.4. Résultats attendus

En l'absence de résultats sur lesquels repose toute étude scientifique, nous nous contentons ici de rapporter les «résultats probables et attendus » en faisant regrouper les

données et résultats d'études bibliographiques antérieures. À l'issue de notre travail, nous nous attendons à :

- L'augmentation de l'équilibre énergétique et protéique et de l'amélioration de l'état corporel général des vaches ;
- L'amélioration des conditions de conception, de la réponse immunitaire et ovulatoire ;
- La maturation des ovocytes et l'augmentation de la taille des follicules ;
- L'amélioration des paramètres biochimiques et hématologiques du sang (FNS) qui seront augmentés de façon remarquable avec l'augmentation de la concentration en algues ajouté à l'alimentation des vaches ;
- L'intervalle vêlage- 1<sup>er</sup> œstrus/ insémination artificielle plus court (par rapport au groupe témoins);
- Une diminution de la prolifération des cellules mononucléaires initiées lors de l'implantation des embryons chez la vache laitière, ce qui permet une diminution de la mortalité embryonnaire ;
- Une faible perte de grossesse dans les 32<sup>ème</sup>-60<sup>ème</sup> jours après IA plus pour les vaches nourries au mélange de graines et spiruline que chez les vaches témoins ;
- Un rendement quotidien en lait plus élevé, la quantité de colostrum 4 % plus élevée ainsi que sa composition et la composition du lait de façon générale ;
- La possibilité de s'affranchir des hormones synthétiques ou du moins diminuer leur apport exogène en faveur d'un apport alimentaire ciblé ;
- Les rendements journaliers moyens en lait seraient augmentés (+3,26 %) comparés à ceux des vaches du groupe témoin, contrairement à la teneur en matières grasses du lait qui sera diminuée ;
- L'amélioration des qualités nutritionnelles et gustatives du lait et des produits laitiers issus de vaches nourries avec le mélange de graines de lin et de soja et de la spiruline.

## Discussion et résultats

L'originalité de ce travail réside dans l'introduction à côté de la spiruline d'aliments contenant des œstrogènes végétaux (des phyto-œstrogènes) et de voir l'effet synergique sur l'amélioration des performances générales de la reproduction chez les vaches.

Cette discussion sera axée sur un ensemble d'articles récents inhérents à notre thématique.

### Matériel bibliographique consacré pour la discussion

1. **Abdul Gofur, et Lestari, Sri., 2016.** Effect of black soybean natto extract (Glycine soja) on reproduction system of hypercholesterolemia male mice. *Asian Pacific Journal of Reproduction.* p. 1-4.
2. **Dawod A., Ahmed H., Abou-Elkhair R., Elbaz HT., Taha AE., Swelum AA., Alhidary IA., Saadeldin IM., Al-Ghadi MQ., Ba-Awadh HA., Hussein EOS., Al-Sagheer AA., 2020.** Effects of Extruded Linseed and Soybean Dietary Supplementation on Lactation Performance, First-Service Conception Rate, and Mastitis Incidence in Holstein Dairy Cows. *Animaux, 10:* p.436.
3. **Dirandeh E., Ghaffari J., 2018.** Effects of feeding a source of omega-3 fatty acid during the early postpartum period on the endocannabinoid system in the bovine endometrium. *Theriogenology.* 121: p. 141-146.
4. **H.M.A. Gaafar., W.A. Riad., Abdelgawad Y. Elsadany., K.F.A. El-Reidy et M.A. Abu El-Hamd., 2017.** Effect of spirulina (*Arthrospira platensis*) on productive and reproductive performance of Friesian cows. *Archiva Zootechnica.* 20:1, p. 19-36.
5. **Talat El-Ratel I., Gabr A., 2019.** Effect of Spirulina and Vitamin E on Reproduction and in vitro Embryo Production in Heat-stressed Rabbits. *Pakistan Journal of Biological Sciences.* DOI: 10.3923 p.545-553.
6. **Jefferson Rodrigues Gandra., Lenita Camargo Verdurico., Rodrigo Daniel Mingoti., Caio Seiti Takiya., Rodrigo Gardinal., Thiago Henrique Aniballe Vendramini., Rafael Villela Barletta., José Antonio Visintin et Francisco Palma Rennó., 2017.** Whole flaxseed, raw soybeans, and calcium salts of fatty acids supplementation for transition cows: follicle development and embryo quality. *Italian Journal of Animal Science.* DOI: 10.1080/1828051X. p.1-7.

7. **Marei WF., Wathes DC., Fouladi-Nashta AA.,2010.** Impact of linoleic acid on bovine oocyte maturation and embryo development. *Reproduction*.139(6): p.979-988.
8. **Mariey Y.A., SamakH.R., et IbrahimM.A., 2012.** Effect of using spirulina plantensis algae as a feed additive for poultry diets :1-productive and reproductive performances of local laying hens.*Poult Sci*. Vol (32) (I): p. 201-215.
9. **Meignan T., Madouasse A., Beudeau F., Lechartier C., Chesneau G., Chatellier V., Bareille N.,2018.** Effets favorables de l'introduction de graines de lin extrudées dans la ration sur la production de lait et la reproduction des vaches laitières.*Renc. Rech. Ruminants*. p. 166-169.
10. **Philippe Brunshwig., Catherine Hurtaud., Yves Chilliard., Frederic Glasser.,2010.** L'apport de lin dans la ration des vaches laitières : Effets sur la production, la composition du lait et des produits laitiers, les émissions de méthane et les performances de reproduction. *INRA Productions Animales*, Paris 23:4. p.307-318.
11. **Sara F., Fouda R., FSA Ismail., 2017.** Effet de spirulina plantensis sur la performance reproductive de lapin. *EgyptianJ. Nutrition and Feeds*, 20 :1. p55-66.
12. **Sujatha T., Narahari D.,2011.** Effet des régimes alimentaires sur la composition du jaune d'œuf des poules 'White Leghorn'. *J Food Sci Technol*. 48 :4. p. 494-497.

Nous nous sommes inspirés de plusieurs études entreprises sur l'impact de la spiruline sur la production et la reproduction en différents élevages et pour différentes espèces, parmi lesquels nous pouvons citer quelques exemples :

### ***Chez les lapins***

Dans une étude expérimentale réalisée par **Talat El-Ratel et Gabr., 2019**, des effets notoires sur la fertilité des lapines supplémentées par de la spiruline et de la vitamine E ont été observés : des résultats quant à l'amélioration des conditions de conception, au bilan biochimique et à la réponse immunitaire et ovulatoire ont été notés. En effet, ces additions nutritives ont affecté la réponse ovulatoire en augmentant le poids des ovaires ainsi que le nombre de corps jaunes. Un important taux de conception chez les lapines avec une augmentation significative de la taille des portées à la naissance ont été relativement notés.

Sur le plan biochimique, dans le sérum sanguin des lapines, une diminution du cholestérol total, de triglycérides ainsi qu'une augmentation de la concentration du HDL et des teneurs des antioxydants du sérum dans le cas présent la catalase, la GPx et la GST a été particulièrement relevé. Par ailleurs, au niveau immunitaire, la supplémentation en spiruline et en Vit E a conduit à une augmentation du nombre des lysosomes et des IgG.

De même, en **2017**, **Fouda et al** ont travaillé sur 20 lapins de la Nouvelle Zélande, supplémentés avec de la spiruline à raison de niveau de 700 mg/mâle par voie orale pour une période de 5 semaines.

Dans cette expérience, il a été constaté que la spiruline influence de façon remarquable la libido et ce, en accélérant la réaction et en augmentant le poids testiculaire et épидидymaire. De ce fait, le taux de la testostérone s'en trouve décuplé atteignant une concentration de 3 ng/mL pour ce groupe expérimenté.

Les analyses biochimiques du plasma séminal des mâles traités ont révélé une hausse des concentrations de protéines totales et de fructose total jouant un rôle dans l'apport de l'énergie essentielle pour le métabolisme du sperme lors du processus de fécondation et dans le maintien d'une pression osmotique constante pendant la conservation du sperme rapporté par **Dhami et Kodagali**. Ce fait a abouti à une amélioration du taux de conception ainsi que celle du poids des lapereaux à la naissance issus de lapines accouplées avec les lapins traités.

#### *Chez les poules*

**Sujatha et al., 2011** ont évalué les performances de production des poules pondeuses de la race Leghorn en supplémentant leur alimentation à hauteur de 3 g/kg de spiruline entre autre (en plus de la spiruline, il y avait un apport supplémentaire en graines de lin et huile de poisson, ainsi que de la vitamine E). Des résultats notoires inhérents cette supplémentation méritent d'être repris en l'occurrence l'engendrement des modifications de la qualité des produits à base de poulet pour répondre aux exigences des consommateurs (du point de vue santé) et l'intensification du pourcentage de jaune d'œuf et de sa couleur ; une amplification qui n'a pas forcément été présente dans le groupe témoin. De plus et grâce à son excellent profil nutritionnel et à sa forte teneur en antioxydants et en acides gras polyinsaturés qui enrichissent la valeur nutritive des œufs, la spiruline a clairement réussi à réduire le taux de cholestérol contenu dans le jaune. Un autre paramètre, et non des moindres, a été suggéré

dans ce résultat à savoir que la spiruline pourrait agir en synergie avec les graines de lin et l'huile de poisson en augmentant les niveaux d'acides gras oméga-3 dans le jaune.

Sur le plan de la fertilité, **Samak et Ibrahim** ont réalisé **en 2012** une étude sur les poules dont le résultat a montré que l'incorporation de la spiruline dans les régimes des poules a entraîné une amélioration de leur fertilité par rapport à celle du groupe de contrôle. Cette amélioration est en partie liée avec la teneur élevée en tocophérols contenu dans la spiruline.

#### **Concernant les bovins/ les vaches laitières :**

**-L'impact de la spiruline** sur la reproduction animale a été affirmé par plusieurs études, où son efficacité a été prouvée en tant qu'additif alimentaire ayant des effets notoires sur la fertilité, et ce pour les ovins, les caprins, les volailles, les lapins, les poissons et chez les souris.

Cependant, l'application de la spiruline dans les régimes alimentaires des vaches au sein de l'industrie –dans le but d'améliorer les élevages ou les qualités nutritionnelles du lait et de la viande- n'a pas été étudiée de manière scientifique et approfondie et présente un déficit de connaissances majeur.

Pour les bovins, la spiruline a été beaucoup plus donnée par des éleveurs comme fourrage aux vaches, tel que les éleveurs en Bretagne (France) par exemple. Dans certaines régions du globe, au Tchad notamment où cette algue est très répandue au lac du Tchad, cette algue est traditionnellement donnée au bétail de manière ancestrale depuis la nuit des temps sans aucune connaissance préalable de ses vertus.

Plus récemment, quelques études, notamment en Egypte ont été réalisées sur l'impact de la spiruline sur la reproduction des bovins.

En effet, les travaux de **H.M.A. Gaafaret al., 2017** ont rapporté les effets positifs de la spiruline sur les performances de la production et de la reproduction sur les vaches laitières. Dans leur étude, leur démarche expérimentale a consisté en l'apport journalier d'une supplémentation en spiruline, cultivée *in-situ* et distribuée dans l'eau d'abreuvement des vaches. Le groupe d'étude a comporté 15 vaches de la race Frisonne (race bovine ancienne dont est issue l'actuelle Prim'Holstein) réparties en trois groupes de cinq vaches chacun. Le groupe G1 a servi de groupe témoin pour lequel seule l'alimentation habituelle a été

distribuée (sans aucun supplément). Les groupes G2 et le G3 ont été supplémentés avec de la spiruline distribuée dans l'eau d'abreuvement à raison de 1 mL/ kg de poids animal pour le groupe G2 et de 2 mL/kg de poids animal pour le groupe G3. La supplémentation en algues spiruline s'est étalée sur 45 jours avant la mise bas et s'est poursuivie jusqu'à 120 jours après mise bas.

Les résultats de cette étude ont montré que la plupart des paramètres biochimiques et hématologiques du sang ont augmenté de façon remarquable avec l'augmentation de la concentration d'algues dans l'eau potable des vaches.

Autre fait remarquable de cette étude est directement lié à notre étude : les caractéristiques de la reproduction du groupe G3 (ayant reçu la concentration la plus élevée en spiruline) ont montré un intervalle vêlage- 1<sup>er</sup> œstrus/ insémination artificielle plus court (par rapport au groupe témoins et au groupe G2) avec un taux élevé de conception.

De même, le groupe G3 a enregistré et de façon très significative un rendement quotidien en lait plus élevé, la quantité de colostrum 4 % plus élevée ainsi que sa composition et la composition du lait de façon générale. Il a aussi été noté que les rendements alimentaires et économiques sont plus élevés car la digestibilité des nutriments a été beaucoup améliorée par l'ajout de la spiruline qui est considérée comme un probiotique.

D'autres travaux corroborent parfaitement les résultats obtenus avec la spiruline sur les performances de la reproduction des vaches (**Mariey et al., 2012., Fouda et Ismail en 2017**).

Concernant notre travail, et selon la démarche expérimentale proposée et qui n'a malheureusement pas été mise en pratique à cause des contions sanitaires liées à la pandémie du Corona virus, nous avons opté pour l'utilisation de la Spiruline pure en poudre issue d'une culture biologique, et très bien caractérisée afin de maximiser les résultats. La concentration de travail choisie pour notre partie expérimentale correspond à la plus haute concentration utilisée dans les travaux précédents (200 g/tête/ j).

**-Concernant l'addition de graines de soja** comme compléments à la ration journalière de la vache, ce nutriment est riche en Acides Gras n-6 et constitue l'un des composants protéiques les plus répandus dans les régimes pour le bétail à viande et le bétail laitier. Cette sous partie revient sur la présentation des résultats de l'expérience de **Dawod et al., 2020**. Cette dernière

consiste à voir l'effet de la supplémentation en graine de lin et de soja sur la production laitière, le taux de conception du premier service et l'incidence des mammites. Elle a été menée sur deux groupes équitables de vaches Holstein 39 chacun. Le G1 (témoin) a reçu sa ration habituelle tandis que le 2<sup>ème</sup> a reçu le même régime de lactation complété par un Mix-Promega3 contenant 650 g / kg de graines de lin extrudées, 150 g / kg de soja extrudé et 200 g / kg de son de riz pendant 38 jours consécutifs.

Les résultats de cette recherche ont indiqué que ce programme de supplémentation a fait augmenter l'équilibre énergétique, protéique et les rendements journaliers moyens en lait (3,26 %) comparé à ceux des vaches du groupe témoin, contrairement à la teneur en matières grasses du lait qui a diminué avec le Mix-Promega3. Pour ce qui est du taux de conception et de l'incidence des mammites, les chercheurs n'ont observé aucune amélioration liée à cette intégration. La première peut être attribuable aux améliorations observées dans la production de lait chez les vaches supplémentées, ce qui a entraîné un bilan énergétique négatif.

Les travaux de **Jefferson et al.(2017)** sur des vaches laitières multipares (n = 42) qui ont été affectées à 4 régimes alimentaires pendant la période pré et post-partum durant 35 jours avant la date prévue de vêlage jusqu'à 84 jours de lait ; les quantités attribuées sont comme suit :

G1 : groupe témoin (n=11) ;

G2 : 60g/kg (pré) et 80g/kg (post) de graines de lin entières (source d' $\omega$ 3, n=11) ;

G3 : 120 g/kg (pré) et 160 g/kg (post) de graines de soja (source d' $\omega$ 6, n=10) et

G4 : 24 g/kg (pré) et 32 g/kg (post) de sels de calcium (source d' $\omega$ 6, n=10.)

Pendant toute la période expérimentale, les vaches nourries avec des régimes riches en oméga-3 et oméga-6 ont montré un nombre de follicules plus élevé que le G1 notamment au cours des trois premières semaines de lactation, ce qui est apprécié dans les procédures de fertilisation. En revanche, le développement de ces follicules et les caractéristiques du corps jaunes ainsi que les ovocytes n'ont pas été atteints par ces traitements diététiques.

Autre fait éminent, les deux vaches nourries avec des sources d'acides gras oméga-3 et oméga-6 avaient une plus grande concentration de triglycérides sanguins pendant la période pré-partum et une concentration de cholestérol sanguin plus élevée pendant le post-partum.



Le natto est un aliment japonais à base de soja fermenté. Il est utilisé dans l'étude réalisée par **Abdul Gofur, Sri Rahayu Lestari en 2016** pour traiter le dysfonctionnement du système reproducteur chez un modèle de souris mâle hypercholestérolémiques âgées de 7 semaines et ceci grâce à sa teneur élevée en antioxydants.

Cette étude a utilisé des souris mâles, divisées en 3 groupes de traitement. Chaque groupe a été traité avec un régime riche en graisses et un extrait de natto de soja noir par voie orale à diverses concentrations : 200 mg / mL, 400 mg / mL, 800 mg / mL. Le groupe contrôle positif a été supplémenté d'un régime riche en graisses sans extrait de Natto pendant 4 semaines à ad libitum avec un volume de 0,5 mL pour 20 g de poids de souris. Une injection d'adrénaline a une dose 0,00084 mg / 20 g a été administrée par voie intraveineuse le premier jour de traitement, excepté dans le groupe contrôle négatif.

Chez les souris mâles hypercholestérolémiques traités avec le natto de soja noir pendant 30 jours, des modifications ont été révélées au niveau du poids testiculaire. Ce dernier a, en effet, diminué par rapport au contrôle positif.

Aussi, ce traitement a fait accroître la mobilité, la densité, la spermatogenèse, la maturation des spermatozoïdes et la croissance des testicules des souris mâles hypercholestérolémiques. Cet effet favorable est dû aux isoflavones (œstrogènes végétaux) contenues dans le soja. Il est, donc, important de souligner que l'extrait de natto de soja noir a fait amplifier le niveau de testostérone et protégé, grâce à son activité antioxydante, la qualité du sperme et des testicules chez les souris nourries avec un régime riche en graisses.

**-Concernant les graines de lin** additionnées comme complément alimentaire, la supplémentation en lin de vaches laitières est une pratique qui se développe de plus en plus. Pour ceci plusieurs auteurs ont opté pour des expériences afin de mettre en valeur l'effet de l'apport de ces graines sur les performances de reproduction et de production laitière. Ces chercheurs ont avancé un certain nombre de suppositions à savoir que la supplémentation en oméga 3 pourrait contribuer à améliorer la reproduction grâce à une meilleure immunité et que l'apport en graines de lin entières provoquerait une diminution de la prolifération des cellules mononucléaires initiées lors de l'implantation des embryons chez la vache laitière (**Lessard et al., 2003**), ce qui permet une diminution de la mortalité embryonnaire (**Petit et Twagiramungu 2006**).

L'expérience faite par **Dirandeh et Ghaffari (2018)** a été réalisée sur un troupeau de 16 vaches laitières Holstein afin d'évaluer l'impact de l'introduction des GLE -composées essentiellement d' $\omega 3$  dans le régime alimentaire des vaches- sur l'amélioration de la fertilité au début du post-partum. Ces deux chercheurs ont réparti ce troupeau en 2 groupes homogènes de 8 individus chacun sans différence préalable entre les groupes en parité ou en score d'état corporel au jour du vêlage. Le G1, considéré comme témoin, a reçu 75g/j d'huile de palme et le G2 a été supplémenté en 75g/j en graines de lin. Ils ont été nourris deux fois par jour (du jour du post-partum à 70 jours de lait).

Il en est résulté que le taux de conception était plus élevé (75 vs 25%) et la perte de grossesse dans les 32e-60e jours après IA plus faible (0 vs 100%) chez les vaches nourries au lin que chez les vaches témoins. Notamment, le score de l'état corporel moyen pendant la période post-partum a été affecté lui aussi par ces régimes en marquant une perte moins importante de BCS à cette période chez le G2 que chez le G1.

Pour ce qui est de la production laitière, il y a eu une baisse de la matière grasse du lait qui contribue à plus de 50% de l'énergie du lait chez les vaches nourries aux graines de lin, ce qui a entraîné une économie d'énergie pouvant ainsi être utilisée pour la synthèse du lait.

Des études antérieures sur les performances laitières ont été effectuées sur 1 291 troupeaux et celles de la reproduction sur 1 096 troupeaux dont chaque troupeau devait contenir au minimum 10 vaches de race Holstein. Ces troupeaux ont été exposés à quatre niveaux de doses journalières de GLE dans leurs rations : 1 à 50 g, 51 à 300 g, 300 à 600 g et 600 à 1 500 g. Ces 4 catégories de doses ont été comparées à l'absence de supplémentation en GLE.

Les auteurs de cet article **Meignan et al., 2018** sont parvenus à un résultat lié à la production laitière. En effet, il en est ressorti que les valeurs de quantité de lait, le taux butyreux et le taux protéique étaient respectivement de  $32,0 \pm 7,59$  kg ;  $38,6 \pm 6,49$  g/kg et  $30,7 \pm 2,87$  g/kg pour les contrôles non exposés, et de  $33,1 \pm 7,76$  kg ;  $37,9 \pm 6,35$  g/kg et  $30,5 \pm 2,76$  g/kg pour ceux exposés à la GLE. De ce fait, il a été observé un accroissement de la production laitière -dose et parité dépendantes- et une diminution dose et parité dépendante du TB et, dans une moindre mesure, celle du TP.

Pour ce qui est des performances de reproduction, ces deux chercheurs ont notifié le raccourcissement des intervalles V-IA première et V-IA fécondante de 1,5 ; 3,7 ; 2,9 et 6,6

jours respectivement. Ceci explique la forte survenue de l'IA première ou de la fécondation chez les vaches recevant de la GLE dès la petite dose.

La présente étude a pour dessein d'étudier l'impact de l'acide linoléique sur l'expansion du complexe cumulus oocyte. Un total de 600 COC ont été utilisés allouant 25 à 30 ovocytes par traitement de ; 0 mM témoin, 50,100 et 200 mM d'AL. L'Acide linoléique étant l'acide gras le plus abondant dans le liquide folliculaire bovin.

Après une analyse de la teneur en acides gras du liquide folliculaire bovin prélevé à partir de follicules de tailles différentes, **Marei et al., 2010** ont observé une diminution significative de la concentration d'AL dans les grands follicules par rapport aux petits. Cela présupposerait que l'AL pourrait être impliqué dans la régulation de la maturation des ovocytes.

La supplémentation en acide linoléique (AL) dans un milieu de maturation des ovocytes à différentes concentrations a entraîné une diminution proportionnelle des pourcentages des COC présentant une expansion respective de  $66\pm 6$ ,  $27\pm 4$  et  $2\pm 2$  contre  $93\pm 2$  dans le groupe témoin et celle du pourcentage des ovocytes au stade MII  $80\pm 2$  ;  $63\pm 3$  et  $42\pm 7$  contre  $87\pm 2$  dans le groupe témoin. Un ajout de 100mM d'AL dans ce milieu va induire une augmentation dose-dépendante de la concentration de PGE2 et le rapport PGE2 :PGF2 $\alpha$ . Cela suppose la capacité des cellules du cumulus bovin à métaboliser l'AL et à produire des PG.

Il a été également conclu que le facteur temps intervient dans la régulation du développement des ovocytes. Effectivement, lorsque les COC ont été traités avec AL pendant 24 h, puis lavés et transférés dans des milieux de maturation sans AL pendant la même durée, une augmentation du pourcentage d'ovocytes au stade MII a été constatée. Quant aux COC traités avec AL pendant seulement 6 h, puis transférés dans des milieux de maturation sans LA pendant 18 h, ceux-ci n'ont, comparé au groupe témoin, pas subi de maturation.

Concernant le lait, **Hurtaud et al (2010)** ont montré que l'apport de doses croissantes de lin extrudé (0, 2,1% et 4,2% de la MS de la ration) provoquait une diminution du diamètre des globules gras de la crème.

D'après **Smet et al 2010**, un apport d'un concentré contenant des graines de lin extrudées (1,2 kg/j) associé à un fourrage a induit à une modification de la matière grasse des laits. Cette dernière a une teneur plus faible en matière grasse solide et une teneur élevée de

triglycérides à bas point de fusion. Tout compte fait, la composition du lait détermine celle du fromage. De ces résultats suggérés, l'on suppose que le lait produit par le groupe supplémenté aurait un rendement en fromage plus élevé.

Dans la sous-partie réservée au fromage, d'autres chercheurs se sont intéressés au rendu de ce produit laitier. Dans leur expérience, ils ont administré aux vaches laitières 2,4 kg/j de lin extrudé dans leurs rations ce qui a donné un fromage dont la texture était plus fondante, plus grasse et moins ferme.

La pâte de fromage des autres vaches, ayant reçu une quantité moins importante (1kg/j) de GLE, était ferme et leur degré de maturité moins avancé.

L'apport journalier de 500 g de matière grasse sous forme de GLE, quel que soit le type de fromage, a entraîné une augmentation de la longueur de la pâte, une diminution de la fermeté et une meilleure dégustation par rapport au lin cru.

Dans un dernier volet, un autre produit laitier a été mis en lumière à savoir le beurre.

Il a été constaté qu'avec une supplémentation de 4,2% de lin extrudé dans la ration des vaches laitières, les pertes de matières grasses dans le babeurre ont été plus importantes qu'avec les autres traitements et les beurres plus humides. Cette constatation est reliée à l'effet provoqué par cette dose sur le diamètre des globules gras de la crème (- 0,7 $\mu$ m).

L'accroissement de la dose de lin extrudé a réduit la dureté des beurres et a amélioré sa tartinabilité. L'augmentation des AGI et la diminution des AGS consécutives à l'augmentation de la dose de GLE qui ont, quant à elles, ont conduit à une diminution de la quantité de matière grasse cristallisée, expliqueraient cet impact qu'a le lin sur la texture du beurre.

## Conclusion et perspectives

Il est démontré sans équivoque -au travers des travaux scientifiques traités durant la revue bibliographique qui consolide nos hypothèses expérimentales- l'importance des matières grasses alimentaires, des balances énergétiques et protéiques couplés à un apport en phyto-œstrogènes dans l'amélioration de la fertilité des vaches laitières. L'amidon et les glucides fermentescibles semblent avoir un effet différent selon les études, voire opposé sur la proportion des vaches gestantes après IA. Certaines disparités dans la fertilité peuvent être attribuées à certains acides gras, acides aminés et glucides contenus dans l'aliment destinés aux vaches laitières. Seul un travail expérimental rigoureux pourrait affirmer ou infirmer ces hypothèses.

Nous avons réussi à proposer un schéma expérimental inédit, afin de pouvoir combiner les apports nutritionnels de certains aliments riches en hormones naturelles avec un procédé de synchronisation afin de s'affranchir efficacement des quantités d'hormones exogènes, nocives aussi bien pour l'homme que pour l'animal. Malheureusement, et pour des raisons totalement hors de notre contrôle nous n'avons pas réussi à mener à terme les expériences nécessaires et de voir quel serait l'impact exact de ce protocole expérimental sur la fertilité des vaches.

Ainsi, nous avons pu envisager l'utilisation du protocole sans injections à dessein, d'une part, de diminuer l'apport en hormones synthétiques et les remplacer par des hormones naturelles contenues dans les aliments ajoutés et d'une autre part réduire les dépenses de l'éleveur.

On peut également songer à produire la spiruline au sein de la ferme. Ce projet permettrait d'obtenir une autonomie sur le plan économique et alimentaire de la ferme. De ce fait, l'éleveur bénéficierait d'une ferme modèle capable de répondre aux besoins de ses animaux et aux besoins locaux en commercialisant son produit pour les industriels et les autres fermes.

De nos jours, le marché **bio** est devenu une pratique courante adoptée par tous les secteurs y compris le secteur animalier et ce, pour assurer le bien-être de l'animal. Ce créneau

est tout aussi prisé par les consommateurs, lesquels préfèrent les aliments issus de ce type d'élevage, en vertu de ce que celui-ci présente comme retours positifs sur le plan qualitatif et quantitatif du produit.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Abdou moussa M.M., 2014.** Insémination artificielle bovine sur chaleurs naturelles dans des élevages traditionnels extensif en périurbain de Niamey (NIGER). Mémoire de master. Université Cheikh anta diop de Dakar. 46p.
2. **Abecia J.A., Chemineau P., Gómez A., Keller M., Forcada F., Delgadillo J.A., 2016.** Presence of photoperiod-melatonin-induced sexually activated rams in spring advances puberty in autumn-born ewe lambs. *Anim. Reprod. Sci.*, **170**, 114-120.
3. **Abidi A., Bahr S., Ben khamsa J S., 2019.** Caractéristiques phytochimiques et thérapeutiques du lin ou *Linum usitatissimum*. *Tunisia revue de la littérature*. p. 29-36.
4. **Adlercreutz H., Mousavi Y., Clark J., 1992.** Dietary phytoestrogens and cancer: in vitro and in vivo studies. *J Steroid Biochem Mol Biol* ; 41(3-8):331-337.
5. **Allain C., Thomas G., et Chanvallon A., 2012.** Détection automatisée des chaleurs en élevage bovin laitier quel outil choisir. Institut de l'élevage.
6. **Allain C., Chanvallon A., Clément P., Guatteo R., Bareille N., 2014.** Elevage de précision : périmètre, applications et perspectives en élevage bovin. *Renc. Rech. Ruminants* 21, 3-10.
7. **Anthony M. S., 2014.** Phytoestrogènes et maladies cardiovasculaires. *Am Heart Assoc*; 2002; Liu Zm, Ho SC, Chen Ym, Liu J, Woo J. Risques cardiovasculaires en relation avec les phénotypes métabolisant la daidzéine chez les femmes chinoises ménopausées. *Plos One*; 9 (2): e87861.
8. **Audrey Manet., 2016.** La spiruline : indications thérapeutiques, risques sanitaires et conseils à l'officine. *Sciences pharmaceutiques*.
9. **Ball P.J.H., et Peters A.R., 2004.** *Reproduction in Cattle* Third Edition Blackwell Publishing, Oxford, 242 p.
10. **Bao B., Garverick H.A., 1998.** Expression of steroidogenic enzyme and gonadotropin receptor genes in bovine follicles during ovarian follicular. *Waves a review. J. Anim. Sci.*, 76(7), 1903-921.
11. **Bao B., Garverick H.A., Smith M.F., Salfen B.E., Youngquists R.S., 1997.** Changes in messenger ribonucleic acid encoding luteinizing hormone receptor, cytochrome P450-side chain cleavage, and aromatase are associated with recruitment and selection of bovine ovarian follicles. *Biol. Reprod.* **56**, 1158-1168.
12. **Beauveau F., Frankena K., Fourichen C., Seegers H., Faye B., Noordhuizen G.P.T.M., 1994.** Associations between health disorders of french dairy cows and early and late culling within the lactation. *Preventive veterinary medicine*, 19 (3-4, 213-231).



13. **Beauveau F., Frankena K., Fourichon C., Seegers H., Faye B., Noordhuizen J.P.T.M., 1994.** Associations between health disorders of frebcbg dairy cows and early and late culling within the lactation. *Preventive veterinary medicine*, **19(3-4)**, 213-231.
14. **Belalia A., 2018.** Etude des performances de reproduction chez les bovins laitiers région de mostaganem. Université Abdelhamide Ben Badis Mostaganem. p. 102.
15. **Bendixen P. H, Vilson B, Ekesbo I, Astrand D. B., 1986.** Disease frequencies in Swedish dairy cows. *I. Dystocia. Prev.Vet.Med.***4**:307-316.
16. **Benhizia S., 2016.** Suivi des modifications hormonales et biochimiques chez la vache laitière au cours de la gestation et en post-partum. Institut des Sciences Vétérinaires. Magistère en Sciences vétérinaires.Université des Frères Mentouri - Constantine 1. 159P.
17. **Bensalem I., Rekika M., Benhamouda M., Lassoued N., Blache D., 2009.** Live weight and metabolic changes and the associated reproductive performance in maiden ewes.*Small Ruminant Research*,**81**: 70–74.
18. **Blanc F., Paccard P., Gatien J., De la torre A., Ponsart C., Egal D., Krauss D., Delval E., Agabriel J., 2010.** Caractérisation de l'œstrus chez la vache allaitante : quantification des manifestations comportementales et facteurs de variation. *Renc. Rench. Ruminants*. p. 121-124.
19. **Boichard D., 1990.** Estimation of the economic weight of fertility in the dairy cow and its factors of variation. *Livest.Prod. Sci.*, **24**: **187–204**
20. **Bonnes G., Batellier F., 2005.** Reproduction des animaux d'élevage. Dijon : Educagri Editions.
21. **Bonnes G., Desclaude J., Drogoul C., Gadoud R., Jussiau R., Le Loc'h A., Montméas L., Robin G., 2005.** Reproduction des animaux d'élevage. 2ème Edition. Educagri Editions, Dijon, France, 407.
22. **Bosio L., 2006.** Relations entre fertilité et évolution de l'état corporel chez la vache laitière. Université Claude Bernanrd Lyon 1. Magistère en Sciences vétérinaires. p. 23.
23. **Bouhazam H., 2016.** Influence de quelques paramètres biochimiques sur deux protocoles de synchronisation de chaleurs de la chèvre locale. Mémoire de fin d'étude, Université de Saad dahleb Blida1. p. 21.
24. **Bouligand J., Guiochon-Mantel A., Young J., 2009.** Le rôle du neuropeptide GnRH dans la cascade gonadotrope enfin validé dans l'espèce humaine. *Nouvelle magazine* .p.791-793.
25. **Bourachot M., 2017.** Traitement des mammites chez la vache laitière l'aromathérapie, état et perspectives. Thèse de doctorat, Université de LYON I. p 21.
26. **Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., Mary B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussiere F., Cabidoche Y.M., Cellier P., Debaeke P., Gaudillere**

**J.P., Henault C., Maraux F., Seguin B., Sinoquet H., 2003.** An overview of the crop model. *European Journal of Agronomy* 18, 309-332.

27. **Brunschwig P., Hurtaud C., Yves Chilliard., Glasser F., 2010.** L'apport de lin dans la ration des vaches laitières : Effets sur la production, la composition du lait et des produits laitiers, les émissions de méthane et les performances de reproduction. *INRA Productions Animales*, Paris **23 (4)**. 307-318.

28. **Bulter W.R., 2000.** Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim. Reprod. Sci.* **60–61**:449–57.

29. **Burke C.R., Blackwell M., Little S., 2007.** The InCalf Book for New Zealand dairy farmers. DairyNZ, 204 p.

30. **Burke C.R., Day M.L., Bunt C.R., MacMillan K.L., 2000.** Use of a small dose of estradiol benzoate during diestrus to synchronize development of the ovulatory follicle in cattle. *J. Anim. Sci.*, **78**, 145-151.

31. **Casarini L., Crepieux P., 2019.** Molecular Mechanisms of Action of FSH. *Frontiers in Endocrinology*. **10**: 305.

32. **Castenholz R.W., Rippka R., Herdman M., and Wilmotte A., 2001.** Form-genus I. *Arthrospira* Stizenberger 1852. In: Boone DR, Castenholz RW, editors. *Bergey's manual of systematic bacteriology*. 2nd ed. New York, USA: Springer; 1542-543.

33. **Cederroth CR., Zimmermann C., Nef S., 2012.** Soy, phytoestrogènes et leur impact sur la santé reproductive. *Endocrinologie moléculaire et cellulaire*. **355(2)**. 192–200.

34. **Chanvallon A., Gatien J., Salvetti P., Frappat B., Paccard P., Agabriel J., Blance F., Constant F., Grimard B., Disenhaus C., Seegers H., Ponsart C., 2011.** UMT Santé des Troupeaux Bovins, Institut de l'Élevage, UMR BioEpar, Oniris, INRA. Nantes, France.

35. **Charlemagne D., 2008.** La spiruline: aliment sante. Mémoire de fin d'étude. Faculté de pharmacie. Dijon. France. p.16.

36. **Chasles M., Chesneau D., Moussu C., Delgadillo J.A., Chemineau P., Keller M., 2017.** Advancement of puberty in autumn-born goat kids by exposure to sexually active bucks. *Reprod. Domest. Anim.*, **52 S3**, 58.

37. **Chassagne M., Barnouin J, Faye B., 1996.** Épidémiologie descriptive de la rétention placentaire en système intensif laitier en Bretagne. p 491-501.

38. **Chastant-Maillard S. 2010.** Maîtriser la reproduction bovine, guide pratique. *Intervet, Beaucouzé*, 38p.

39. **Chevallier A., Champion H., 1996.** Etude de la fécondité des vaches laitières en Sarthe et Loir et Cher – El. et Ins. **272** : 8-22

40. **Chicoineau, V., 2007.** Comparaison de l'efficacité du traitement de synchronisation des chaleurs CRESTAR® classique avec celle du nouveau traitement CRESTAR SO®chez la

vache laitière. Thèse de Doctorat Vétérinaire, École Nationale Vétérinaire D'Alfort, France. p. 16.

41. **Dawod A., Ahmed H., Abou-Elkhair R., Elbaz H. T., Taha AE., Swelum A. A., Alhidary I. A., Saadeldin I. M., Al-Ghadi M. Q., Ba-Awadh H. A., Hussein E. O. S., Al-Sagheer A. A., 2020.** Effects of Extruded Linseed and Soybean Dietary Supplementation on Lactation Performance, First-Service Conception Rate, and Mastitis Incidence in Holstein Dairy Cows. *Animals (Basel)*.**10(3)**: 436
42. **Derivaux J. et Ectors F., 1989** Reproduction chez les animaux domestiques. Paris : *Académia*.-155p.
43. **Derivaux J., Ectors F., 1986.** Reproduction chez les animaux domestiques. Louvain-La-Neuve : Cabay. 1141 p. ISBN 2-87077-329-3.
44. **Derouin., Tochonf., Beltramom., Decourtc., Fleurotr., Gérardn., Pinet- Charvetc., Martinets., Robertv., Taragnatc., Tilley., Duittoza, 2019.** L'ovulation chez les mammifères. *INRAE Productions Animales*, **32(3)**, 445-460.
45. **Derradji, M., 2014.** Les chaleurs et leurs Impacts sur les performances repro-productives chez la vache laitière. Mémoire de master. Université 8 Mai 1945, Guelma. p. 8.
46. **Desmawati D., Sulastrri D., 2019.** Phytoestrogens and their Health Effect. *Open Access Maced J Med Sci*.**7 (3)** . 495-499.
47. **Dezaux P., 2001.** Synchronisation des chaleurs chez les vaches allaitantes par l'association GnRH- PGF2 $\alpha$ -GnRH. Thèse de Doctorat Vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. p. 31.
48. **Dirandeh E., Ghaffari J., 2018.** Effects of feeding a source of omega-3 fatty acid during the early postpartum period on the endocannabinoid system in the bovine endometrium. *Theriogenology*.**121**: 141-146.
49. **Disenhaus C., Cutullic E., Freret S et coll., 2010.**Vers une cohérence des pratiques de détection des chaleurs: intégrer la vache, l'éleveur et le système d'élevage. *Renc. Rech. Rumin.* **17**. p. 113-120.
50. **Diskin M. G., Sreenan J. M., 2000.** Expression and detection of oestrus in cattle. *Reproduction, Nutrition, Development*. **40(5)** 481-91.
51. **Dodin, S., Blanchet, C., et Marc, I., 2003.** Phytoestrogènes chez la femme ménopausée. *M/S : médecine sciences*, **19 (10)**. 1030–1037.
52. **Doucet M., 2004.** Techniques de détection de l'œstrus chez la vache laitière. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort. p. 39.
53. **Driancourt M., Thatcher W., Terqui M., Andrieu D., 1991.** Dynamics of ovarian follicular development in cattle during the œstrous cycle, early pregnancy and in response to PMSG. *Domest Anim Endocrinol* ; **8**:209-221.

54. **Ferlay B., Graulet Y., Chilliard., 2013.** Maîtrise par l'alimentation des teneurs en acides gras et en composés vitaminiques du lait de vache. *INRA Prod. Anim.*, 26: 2.p.177-192.
55. **Fogwel R.L., Bartelett B.B., Reid W.A 1986.** Synchronized estrus and fertility of beef cow after calves for short intervals. *J. Anim. Sc.*, **63** : 369-376.
56. **Fortune J.E., 1994.** Ovarian follicular growth and development in mammals. *Biol. Reprod.*, **50**, 225-232.
57. **Friggens NC ., Bjerring M., Ridder C., Højsgaard S et Larsen T., 2008.** Improved Detection of Reproductive Status in Dairy Cows Using Milk Progesterone Measurements. *Reprod Dom Anim.***43**. p. 113–121.
58. **Gaafar MAH, Riad AW, Elsadany YA, El-Reidy FAK, Abu El-Hamd AM., 2017.**Effect of spirulina (*Arthrospira platensis*) on productive and reproductive performance of Friesian cows. *Archiva Zootechnica*. **20(1)**, 19-36.
59. **Gad, AS., Khadrawy YA., El-Nekeety AA., Mohamed SR., Hassan NS., Abdel-Wahhab MA., 2011.**Activité antioxydante et effets hépatoprotecteurs de la protéine de lactosérum et de la spiruline chez le rat. *Nutrition*, **27**: 582-589.
60. **Germain M. E., 2009.** La double ovulation chez la vache. Thèse pour le doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. p.44.
61. **Gipoulou C., Ennuyer M., Humblot P., Remmy D., Hagen-Picard N., Deletang F., Mayarj C., Regis R., 2003.** Gestion de la reproduction. In formation à la maîtrise de la reproduction bovine. (Cd-rom), Paris : éditions Afc-ceva-mida test-oger -camia-kerel.
62. **Gofur Abdul et Lestari, Sri., 2016.** Effect of black soybean natto extract (Glycine soja) on reproduction system of hypercholesterolemia male mice. *Asian Pacific Journal of Reproduction*. p. 1-4.
63. **Gonzalez R., Rodriguez S., Romay C., Anchet A O., Gonzalez A., Armesto J., 1999.** Antiinflammatory activity of phycocyanin extract in acetic acid induced colitis in rats. *Pharmacological research* ; **39 (1)**: p. 55-59.
64. **Goulamabasse., 2018.** La Spiruline : Activités thérapeutiques et son intérêt dans la lutte contre la malnutrition à Madagascar. Thèse de doctorat. Université de Lille. p. 21.
65. **Grimard B., Agabriel J., Chambon, G., Chanvallon A., Constan F., Chastant-Maillard S., 2017.** Particularités de la reproduction des vaches allaitantes de races françaises. *INRA Productions Animales*. 30. 10.20870/productions-animales.2017.30.2.2239.
66. **Grimard B., Humblot P., Ponter A., Chastant S., Constant F., Mialot J., 2003.** Efficacité des traitements de synchronisation des chaleurs chez les bovins. *INRA Prod. Anim.***16**: (3). 211-227.
67. **Gupta S., Hrishikeshvan H. J., Sehajpal P. K., 2010.** Spirulina protects against rosiglitazone induced osteoporosis in insulin resistance rats. *Diabetes Res Clin Pract* ;**87(1)**:38-43.

68. **Hafez B., Hafez ESE., 2000.** Reproduction in farm animals. 7th edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. p. 509.
69. **Halligudi N., 2012.** Pharmacological properties of flax seed: Review Hygeia: *Journal for drugs and medicines* **4 (2):** 70-77.
70. **Hanzen C, Bascon F, Theron L, Lopez-Gatius F., 2008.** Les kystes ovariens dans l'espèce bovine. Partie 1. Définitions, symptômes et diagnostic. *Ann. Med. Vet.*, **152:**17-34.
71. **Hanzen C., 1994.** Etude des facteurs de risque de l'infertilité et des pathologies puerpérales et du postpartum chez la vache laitière et la vache viandeuse,
- **Hanzen C., Boudry B., Bouchard E., 2003.** Effects of GPG protocol on reproductive performance. *Point Veterinaire*. **34.** 50-54.
72. **Hanzen, C., Houtain, J. Y., Laurent, Y., & Ectors, F., 1996.** Influence des facteurs individuels et de troupeau sur les performances de reproduction bovine. In *Annales de Médecine Vétérinaire* **140**, pp. 195-210). Université de Liège.
73. **Hefner L., Schust D., 2010.** The reproductive system at a glance. John Wiley & Sons. 128 p. ISBN 978-1-4051-9452-5.
74. **Hewet C.D., 1968.** A survey of the incidence of the repeat-breeder in Sweden with reference to herd size, season, age and milk yield. *Br.Vet.J.*,**124:** 342-352.
75. **Hopper R. M., 2015.** Bovine reproduction. Ames, Iowa: John Wiley & Sons Inc. p. 800.
76. **Hug C., Von der Weid D., 2011.** "La spiruline dans la lutte contre la malnutrition - Bilan et perspectives" Fondation Antenna technologies.
77. **Humblot P., Thibier M., 1977.** L'ancœstrus post-partum chez la vache laitière, diagnostic et thérapeutique *Bull. de la Soc. Vet. Prat de France*, **62 (5)**, 335-352.
78. **Iserin P., Moulard F., Rachel R., Biauveau M., Ringuet J., Bloch J., Ybert E., Vican P., Masson M., Restellini ES J. P., et Botrel A., 2001.** La rousse : encyclopédie des plantes médicinales ; identification, préparation, soins. 2 éd, Paris, pp.155-291.
79. **Ismail MF., Ali DA., Fernando A., et coll, 2009.** Chemoprevention of rat liver toxicity and carcinogenesis by Spirulina. *Int J Biol Sci.* **5** :377-87.
80. **Jefferson Rodrigues Gandra., Lenita Camargo Verdurico., Rodrigo Daniel Mingoti., Caio Seiti Takiya., Rodrigo Gardinal., Thiago Henrique Aniballe Vendramini., Rafael Villela Barletta., José Antonio Visintin et Francisco Palma Rennó., 2017.** Whole flaxseed, raw soybeans, and calcium salts of fatty acids supplementation for transition cows: follicle development and embryo quality. *Italian Journal of Animal Science*. DOI: 10.1080/1828051X. p.1-7.
81. **Jhala A. J., Hall L. M., 2010.** Flax (*Linum Usitatissimum*) : Current Uses and Future Applications. *Australian Journal of basic and Applied Sciences.* **4(9)** : 4304-4312.

82. **Khan Z., Bhadouria P., Bisen PS., 2005.** Nutritional and therapeutic potential of Spirulina. *Curr Pharm Biotechnol* ;6(5):373-379.
83. **Kiddy C.A., 1977.** Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cows. *Journal of dairy Science.* 60, p 235-243.
84. **Komárek J., Kaštovský J., Mareš J., Johansen J R., 2014.** Taxonomic classification of cyanoprokaryotes (cyanobacterial genera) using a polyphasic approach. *Preslia*.86.. 295–335.
85. **Kruif A., 1977.** Variation in physical activity as an indication of estrus in dairy cows. *J. Dairy Sci.*,60, 235-243.
86. **Labat E., 2013.** Le soja : influence de sa consommation sur la santé humaine et conséquences de l'expansion de sa culture au niveau mondial. Thèse de doctorat en pharmacie. Université Toulouse III Paul Sabatier. Faculté des sciences pharmaceutiques. p104.
87. **Labat E., 2013.** Le soja : influence de sa consommation sur la santé humaine et conséquences de l'expansion de sa culture au niveau mondial. Thèse de doctorat à Toulouse. p. 27.
88. **Laghrou W., 2012.** Comparaison de deux méthodes de traitements de maîtrises des cycles associant la progestérone, l'œstrogène et la prostaglandine F2alpha chez la vache laitière. Mémoire de Magister. p. 14.
89. **Larbi N., Rouab M., 2017.** Etude échographique de l'ovaire au cours de cycle oestral chez la vache. Master. Université de Saad Dahlab Blida..69p.
90. **Laverdiere G, Roy GL, Proulx J, Lavoie D et Dufour JJ. (1994).** Comparaison de l'effet de deux analogues de la prostaglandine F2a sur la synchronisation del'oestrus chez la vache de boucherie.Can. J. Anim. Sci., 74, 29-36. [30] :
91. **Lecointre R., 2017** : Optimisation de la production de spiruline dans une ferme à Madagascar afin de lutter contre la malnutrition infantile. Mémoire d'Ingénieur, Agroalimentaire, Oniris, Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation, Nantes Atlantiques. p. 70.
92. **Lozovaya, V.V., Lygin, A.V., Zernova, O.V., Ulanov, A.V., Li, S., Hartman, G.L. and Widholm, J.L., 2007.** Isoflavonoids, which are characteristic metabolites of the Fabaceae, play significant roles in the adaptation of producer plants to the biological environments. *Planta*225: 665–679.
93. **Lucy MC. 2001).** Reproductive loss in high-producing dairy cattle: where will it end. *J Dairy Sci*, 84(6) : 1277-1293.
94. **Lyimo Z., Nielen M., Ouweltjes W., Kruip T. A., Eerdenburg F., 2000.**Relationship among estradiol, cortisol and intensity of estrous behavior in dairy cattle. *Theriogenology.* 53. 1783-95.

95. **Mac millan K.L., Watson J.D., 1975.** Fertility differences between groups of sires relative to the stage of oestrus at the time of insemination. *Anim. Prod.*, **21**, 243-249.
96. **Mao T.K., Van de Water J., Gershwin ME., 2005.** Effects of a Spirulina-based dietary supplement on cytokine production from allergic rhinitis patients. *J. Med. Food*: 27-30.
97. **Marei W. F., Wathes D. C., Fouladi-Nashta A. A., 2010.** Impact of linoleic acid on bovine oocyte maturation and embryo development. *Reproduction*.139 (6): p. 979-988.
98. **Mariey Y.A., Samak H.R. et Ibrahim M.A., 2012.** Effect of using spirulina plantensis algae as a feed additive for poultry diets :1-productive and reproductive performances of local laying hens. *Poult Sci. Vol (32) (I)*: p. 201-215.
99. **Mauffré V., Grimard B., Eozenou C., Inghels S., Silva L., Giraud-Delville C., Capo D., Sandra O., Constant F., 2016.** Interferon stimulated genes as peripheral diagnostic markers of early pregnancy in sheep: a critical assessment. *Animal*, 10 (11): 1856-1863.
100. **Mbaza M., 2018.** Impact du bisphénol A sur la régulation hormonale de l'oxytocine et la testostérone des rats mâles et femelles : Examen systématique et synthèse narrative. En vue de l'obtention du diplôme de la Maîtrise en Science de la Santé Interdisciplinaire. Université d'Ottawa. p.10.
101. **Mebdoua A., 2017.** Suivi des paramètres de la reproduction des vaches laitières dans quelques élevages de la wilaya de Ain Defla. Mémoire de fin d'étude. Université de Khemis Miliana. p 26.
102. **Meignan T., Madouasse A., Beaudreau F., Lechartier C., Cheneau G., Chatellier V., Bareille N., 2018.** Effets favorables de l'introduction de graines de lin extrudées dans la ration sur la production de lait et la reproduction des vaches laitières. *Renc. Rech. Ruminants*. p. 166-169.
103. **Mestdagh C., 2008.** Comparaison de deux durées de traitement de maîtrise des cycles associant la progestérone et la prostaglandine F2 chez la vache. Thèse de doctorat, Ecole nationale vétérinaire, Toulouse. p 36.
104. **Meyer C., 2009.** Influence de l'alimentation sur la reproduction des bovins domestiques. Document de travail. Montpellier. p 34.
105. **Miguad M., Dardente H., Keller M., Batailler M., Meurisse M., Pillon D., 2016.** Contrôle neuroendocrinien de la reproduction chez les mammifères. In : Neurobiologie des fonctions et des comportements. **Chaillou E., Tillet Y., Baumont R.** (Eds). Dossier, *INRA Prod. Anim.* 29. p. 255-266.
106. **Nebel RL, Jones CM, Roth Z. 2011.** Reproduction, Events and Management | Mating Management : Detection of Estrus. In : **Fuquay J, Fox P, McSweeney P**, editors. *Encyclopedia of Dairy Sciences*. 2nd ed. Academic Press; 461-66.
107. **Nedeva R., Jordanova G., Kistanova E., Shumkov K., Georgiev B., Abadgieva D., Kacheva, D., Shimkus A., Shimkine A., 2014.** Effect of the addition of Spirulina platensis

on the productivity and some blood parameters on growing pigs. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 20. 680-684.

108. **Opsomer, G., Gröhn, Y. T., Hertl, J., Coryn, M., Deluyker, H., & de Kruif, A., 2000.** Risk factors for post-partum ovarian dysfunction in high producing dairy cows in Belgium: a field study. *Theriogenology*, 53(4), 841-857.

109. **Pellicer-Rubio M., Boissard K., Grizelj J., Vince S., Fréret S., Fatet A., López-Sebastián., 2019.** Vers une maîtrise de la reproduction sans hormones chez les petits ruminants. *INRA Prod. Anim.* **32**: (1). p. 51-66.

110. **Pellicer-Rubio M.T., Leboeuf B., Bernelas D., Forgerit Y., Pougnaud J.L., Bonne J.L., Senty E., Chemineau P., 2007.** Highly synchronous and fertile reproductive activity induced by the male effect during deep anoestrus in lactating goats subjected to treatment with artificially long days followed by a natural photoperiod. *Anim. Reprod. Sci.*, **98**, 241-258.

111. **Petit H.V., Twagiramungu H., 2006.** Conception rate and reproductive function of dairy cows fed different fat sources. *Theriogenology*, **66**, 1316-1324.

112. **Pharazyn A., Hartog L.A., Aherne, F.X., 1990.** Vitamin E and its role in the nutrition of the gilt and sow: A review. *Livestock Production Science*. **24**. 1–13.

113. **Picton H.M., Tsonis C.G., McNeilly A.S., 1990.** FSH causes a time-dependent stimulation of preovulatory follicle growth in the absence of pulsatile LH secretion in ewes chronically treated with gonadotrophin-releasing hormone agonist. *J. Endocrinol*, **126**, 297-307

114. **Point F., 2007.** Contribution à l'étude de la détection des chaleurs par vidéosurveillance chez la vache laitière. Comparaison avec les profils de progestérone. En vue de l'obtention du doctorat en vétérinaire. Ecole national vétérinaire de LYON. p. 29.

115. **Ponsart C., Freret S., Grimard B., Humblot P., Deletang F., Driancourt M.A. 2005** Du nouveau sur l'utilisation des progestagènes. *BTIA*, **117**, 20-25.

116. **Pontlevoy R., 2017.** État des lieux à l'échelle mondiale des traitements hormonaux de synchronisation des chaleurs dans l'espèce bovine. Thèse de doctorat vétérinaire : Sciences vétérinaires. Faculté de médecine de Créteil. p. 144.

117. **Pryor A. W., 2012.** Free Radicals in Biology, Volume 6. Elsevier. p 422.

118. **Regunathan C., & Wesley S., 2006.** Pigment deficiency correction in shrimp broodstock using Spirulina as a carotenoid source. *Aquaculture Nutrition*. **12**. 425 - 432.

119. **Renouard S., 2011.** Régulation transcriptionnelle de la biosynthèse des lignanes du lin (*Linum usitatissimum* et *Linum flavum*) et amélioration de l'extraction des lignanes. Thèse de Doctorat. Ecole doctorale sciences et technologies. p231.

120. **Rodney R.M., Celi P., Scott W., Breinhild K., Santos J.E.P., Lean I.J., 2018.** Effects of nutrition on the fertility of lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. **101** : 5115-5133.



121. **Saini M., Vaish V., et Sanyal S., 2013.** Rôle des cytokines et signalisation Jak3 / Stat3 dans le modèle de carcinogenèse du côlon induit par le dichlorhydrate de 1,2-diméthylhydrazine. *European Journal of Cancer Prevention*, **22( 3)**, 215-243p.
122. **Saini MK, Sanyal SN., 2012.** PTEN régule la mort cellulaire apoptotique par la voie de signalisation PI3-K / Akt / GSK3  $\beta$  dans la carcinogenèse précoce du côlon induite par la DMH chez le rat. *Pathologie expérimentale et moléculaire*; **93 (1)**: 135-146.
123. **Saint-Dizier M. 2005.** La détection des chaleurs chez la vache. *Le Point Vétérinaire*. **36**, 22-27.
124. **Saintdizier M., Aubriot D., Chastant-Maillard S., 2011.** Vers une détection automatisée des chaleurs en élevage laitier. p. 62–69.
125. **Sara F., Fouda R., FSA Ismail., 2017.** Effet de spirulina plantensis sur la performance reproductive de lapin. *Egyptian J. Nutrition and Feeds*. 20 :1. p55-66.
126. **Saumande J., 2000.** La détection électronique des chevauchements pour la détection des vaches en chaleur : possibilités et limites. *Revue Méd. Vét.* **151(11)**. 1011-1020.
127. **Savouret J F., 2005.** Les phytoestrogènes et leurs perspectives. *Médecine Thérapeutique / médecine de la reproduction.*; **7 (4)**. 293-303.
128. **Senoussi A., Abdellaoui O., 2018.** L'insémination artificielle chez les bovins. Institut des Sciences Vétérinaires Blida 1. Doctorat en vétérinaire. p 25.
129. **Sguera S., 2008.** Spirulina Platensis et ses constituants intérêts et activités thérapeutiques. Thèse de docteur en Pharmacie. Université de LORRAINE. p 34.
130. **Sharma G., Kumar M., Ali M., Jasuja N. D., 2014.** Effect of Carbon Content, Salinity and pH on Spirulina platensis for Phycocyanin, Allophycocyanin and Phycoerythrin Accumulation. *J Microb Biochem Technol***6**: 202-206.
131. **Sharpe, R., Martin, B., Morris, K., Greig, I., McKinnell, C., McNeilly, A. et Walker, M. 2002.** Alimentation du nourrisson avec du lait de soja: effets sur les testicules et sur les taux sanguins de testostérone chez le singe marmouset pendant la période d'activité testiculaire néonatale. *Reproduction humaine*, **17** , 1692-1703.
132. **Shokri H., Khosravi A., Taghavi M., 2014.** Efficacy of Spirulina platen- sis on immune functions in cancer mice with systemic candidiasis. *J Mycol Res***1(1)**:7–13.
133. **Short R.E., Adams D.C., 1988.** Nutritional and hormonal interrelationships in beef cattle reproduction. *Can J Anim Sci***68**:29–39.
134. **Staples, C. A., Dorn, P. B., Klecka, G. M., O'Block, S. T. and Harris, L. R., 1998.** A review of the environmental fate, effects, and exposures of bisphenol A. *Chemosphere***36 (10)** 2149-2173.
135. **Stevenson J.S, Call E.P. 1983.**Influence of early estrus, ovulation and insemination on fertility in post-partum Holstein cows. *Theriogenology*, **19**, 367-375.

136. **Sujatha T., Narahari D., 2011.** Effet des régimes alimentaires sur la composition du jaune d'oeuf des poules 'White Leghorn'. *J Food Sci Technol.* **48 (4)**, p. 494-497.
137. **Talat El-Ratel I., Gabr A., 2019.** Effect of Spirulina and Vitamin E on Reproduction and in vitro Embryo Production in Heat-stressed Rabbits. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. DOI: 10.3923.p.545-553.
138. **Thibier M., 1976.** Le cycle sexuel des mammifères domestiques. 1- description du cycle sexuel de la vache. *Econ. Et Méd. Anim.*, **17** : 117-134.
139. **Tournadre H., Pellicer M.T., Bocquier F., 2009.** Maîtriser la reproduction en élevage ovin biologique: influence de facteurs d'élevage sur l'efficacité de l'effet bélier. *Innov. Agron.*, **4**, 85-90.
140. **Vaillancourt D., Descôteaux., 2012.** Gestion de la reproduction des bovins laitiers. MED'COM. Paris ; France, 240 p.
141. **Vaissaire J., 2018.** Mémento de zootechnie. Editeur **FRANCE AGRICOLE**. p. 337
142. **Wattiaux A. M., 2006.** Détection des chaleurs, saillie naturelle et insémination artificielle. In : *Reproduction et sélection génétique*, Babcock Institute.
143. **Wolter R., 1988.** Besoins vitaminiques des ruminants. *INRA Productions Animales*. Paris. p. 311-318.
144. **Wu A. H., Lee E., & Vigen C., 2013.** Soy Isoflavones and Breast Cancer. *American Society of Clinical Oncology*. p. 102-106.
145. **Xu Z. Z., McKnight D. J., Vishwanath R., Pitt C. J., et Burton L. J. 1998.** Estrus detection using radiotelemetry or visual observation and tail painting for dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*. **81 (11)**, 2890-2896.

# **Annexes**

## **Annexe n°1: Les maladies fréquentes liées à la reproduction dans les troupeaux bovins**

### **1. Les kystes ovariens :**

Les vaches présentant un retard de cyclicité sont les plus susceptibles de développer un kyste ovarien ce qui allonge la durée de leur intervalle vêlage/ première insémination artificielle (**Roth *etal*, 2012**).

### **2. La rétention placentaire :**

C'est un trouble sanitaire à incidence élevée chez les vaches laitières. Il en résulte l'absence d'expulsion des enveloppes fœtales dans les 24 heures suivant la mise bas, ce qui augmente le risque de réforme, d'infertilité et d'infécondité (**Hanzen *etal*, 1996**).

### **3. Le vêlage dystocique :**

Le vêlage dystocique est tout vêlage nécessitant une intervention extérieure. Il a de multiples conséquences comme l'augmentation de la fréquence des pathologies du post-partum et la diminution des performances de reproduction des animaux (**Hanzen *et al.*, 1996**).

### **4. La métrite :**

C'est une inflammation utérine qui se manifeste au 21<sup>ème</sup> jour du post-partum (**Vaillancourt *et al.*, 2012**).

### **5. Les mammites :**

Il s'agit d'inflammations de la glande mammaire, touchant un ou plusieurs quartiers, quels qu'en soient l'origine, la gravité et le mode d'évolution (**Bourachot *etal.*, 2017**).

## Annexe n°2: Les dispositifs mécaniques

**Tableau III** : Les avantages et les inconvénients des dispositifs mécaniques.

Dispositifs mécaniques	Inconvénients	Avantages
<b>Craies peintures à la base de la queue</b>	<p>-Peu spécifiques: jusqu'à 10 % de faux positifs (Sawyer, Brown et Silcock 1986).</p> <p>-Peuvent disparaître avec la pluie ou les frottements de l'animal contre un mur, un arbre. (Saint-Dizier 2005; Diskin et Kenny 2014).</p> <p>-Durée de vie courte (Diskin et Kenny 2014).</p>	<p>- Peu onéreux,</p> <p>- Faciles à appliquer</p> <p>-Permettent une détection continue.</p>
<b>Capsules de peinture</b>	<p>-Incapables de faire la différence entre un chevauchement long et une pression indirecte exercée (appui contre un mur par exemple).</p> <p>-Ils ne fournissent pas d'informations quant au moment d'apparition de la première acceptation du chevauchement.</p>	
<b>Patch Estrotect</b>		<p>- Facile à lire et à utiliser</p> <p>- Extrêmement visible</p>

## Annexe n°3: La spiruline

### 1. Taxonomie :

Actuellement, le nom de genre *Spirulina* n'est plus utilisé et le terme « spiruline » regroupe plusieurs espèces, de morphologie et de composition proches, rattachées au genre *Arthrospira* dans l'ordre des Oscillatoriales, famille des Microcoleaceae (**Komárek et al., 2014**).

### 2. Cycle biologique :

Le filament de la spiruline à maturité forme des cellules appelées Nécriidies (**Komárek et al. 2014**). Elles sont assimilées à des disques de séparation. A partir de ces derniers, le trichome se fragmente pour donner de 2 à 4 cellules appelées Hormogonies. Ces Hormogonies vont croître en longueur par division binaire et prendre la forme hélicoïdale (**Balloni et al. 1980 in Charpy, 2008**).

Sa vitesse de multiplication est rapide dès que la température dépasse 30°C à l'ombre; lorsque ces conditions sont réunies et que le milieu est favorable, le temps de régénération est très court (**Zarrouk, 1966 in Jourdan, 2006**).

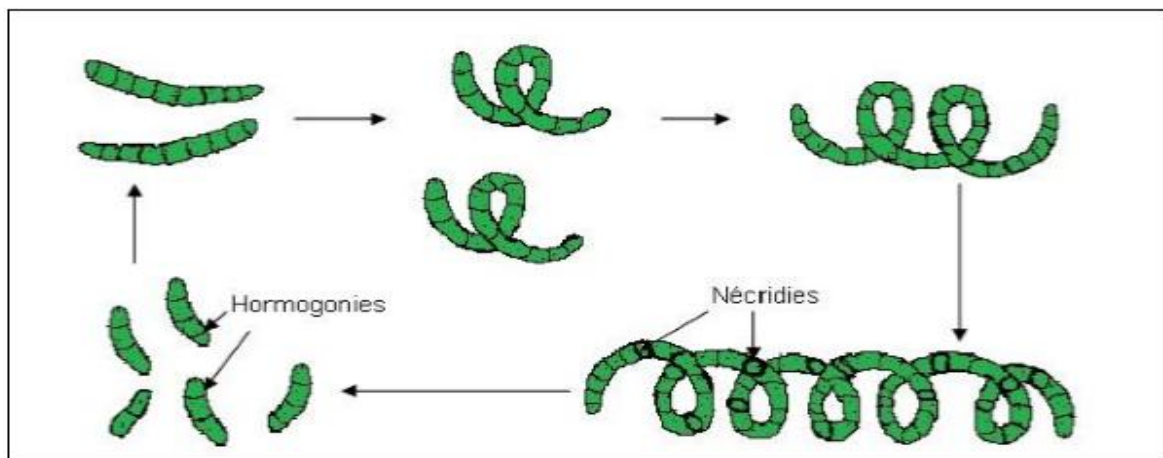


Figure 21 : Cycle biologique selon (**Balloni et al 1980 in Charpy, 2008**)

### 3. Le milieu de culture de la spiruline

#### A. Conditions chimiques de croissance : (**Jourdan, 2014**)

##### a) Composition du milieu de culture :

**Eau** : elle doit être potable ou au moins filtrée, parfois stérilisée aux UV, avec une dureté faible. Il est nécessaire de s'assurer de l'élimination des algues étrangères.

**L'alcalinité** peut être apportée par le bicarbonate de sodium, la soude caustique, le carbonate de sodium (le natron) ce qui permet d'avoir une valeur du pH avoisinant 8.5.

**La salinité** est apportée par des fertilisants et du sel (chlorure de sodium). Le sel de cuisine peut également être utilisé.

**Les fertilisants** assurent la croissance de la spiruline : l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le soufre (S), le magnésium (Mg), le calcium (Ca), et le fer (Fe).

#### **b) Conditions physiques de croissance :**

**La température :** la spiruline ne commence à croître d'une manière appréciable qu'au-dessus de 20°C. La vitesse de croissance est maximale vers 35-37°C. Au-delà de cette température, on risque rapidement une destruction de la culture.

**La lumière :** Une culture en bonnes conditions de concentration et de température pourra être exposée avec profit à un maximum de lumière naturelle.

**Tableau IV :** milieu de culture de la spiruline selon (Jourdan., 2014).

Désignation	Formule chimique	Taux
Bicarbonate de sodium	$\text{NaHCO}_3$	8g/l
Sel marin	$\text{NaCl}$	5g/l
Urée	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	0,02 g/l
Phosphate monoammonique	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	0,1g/l
Sulfate de potassium	$\text{K}_2\text{SO}_4$	0,1g/l
Sulfate de magnésium	$\text{MgSO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$	0,2g/l
Sulfate de fer	$\text{FeSO}_4$	1mg/l

#### **4. Les avantages environnementaux**

- Sa culture requiert dix fois moins d'eau que n'importe quelle autre culture, pour un rendement protéique à l'hectare (30 à 50 tonnes) quinze fois supérieur au soja (2,5 tonnes)
- Son séchage est effectué à moins de 60°C, en séchoir solaire et son conditionnement est fait sans conservateur, ni colorants.
- La spiruline est cultivée sans aucun fongicide, herbicide, pesticide, culture hors sol et elle ne provoque aucune nuisance sur l'environnement.
- C'est une grande productrice d'oxygène, la culture n'émet pas de gaz à effet de serre, au contraire elle consomme environ 40 tonnes de CO<sub>2</sub> par hectare et par an.

## Annexe n°4: Les graines de lin

### 1. Historique :

L'histoire du lin remonte à des millénaires, originaire du Caucase et considérée comme une des principales plantes à graines fondatrices de l'Égypte. Ses fibres étaient utilisées pour la fabrication des vêtements et servaient pour la navigation. Ses graines, quant à elles, passaient pour comestibles et nutritives.

### 2. Taxonomie :

Selon l'USDA-NRCS (2010) le lin, sous le nom scientifique de « Linum usitatissimum », espèce annuelle herbacée, appartient au sous-embranchement des Angiospermes, et fait partie de l'ordre des Linales, de la famille des Linaceae.

**Tableau V** : Composition chimique (%) des grains de lin (Rubilar et al, 2010).

Humidité	Protéine	Lipide	Fibre	Cendre	Références
7,4	23,4	45,2	-	3,5	Mueller et al (2010)
4-8	20-25	30-40	20-25	3-4	Coskuner et Karababa (2007)



## **Annexen°5 : Les graines de soja :**

### **1. Historique :**

Le soja est originaire de Chine et il est utilisé depuis des millénaires en Asie, comme les aliments de base. Il entre dans la composition des plats japonais, notamment le tofu. Le soja est introduit en Europe au XVIII<sup>ème</sup> siècle.

### **2. Taxonomie :**

Les graines de soja appartiennent à l'ordre des Fabales, famille des Légumineuses, sous-famille des Fabacées (ou Papilionacées), tribu des *Phaseoleae*, genre *Glycine L.* Le soja possède un port végétatif et un appareil reproducteur caractéristique de la famille des Fabacées.

### **3. Composition de la graine de soja :**

Le soja est riche en protéines, lipides et glucides. Cette graine contient également les vitamines liposolubles A, D, E, K et B et des minéraux mais aussi des micronutriments tels que les isoflavones, les saponines, les stérols, les phytates et les inhibiteurs de protéases qui apportent au soja des propriétés préventives.