République Algérienne démocratique et populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur
et de la Recherche Scientifique
École Nationale Supérieure Vétérinaire

ENSV
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE VETERINAIRE
ALGER

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
المدرسة الوطنية العليا للبيطرة

ÉCOLE NATIONALE SUPÉRIEURE VÉTÉRINAIRE

Projet de fin d'études

En vue de l'obtention du
Diplôme de Docteur Vétérinaire

THÈME :

Elaboration d'un dispositif de détection des chaleurs par chevauchement chez la vache laitière

Présenté par :

BOUAKKAZ Besma

KERKECH Malika Chahrazed

Soutenu le : 30 / 06 / 2016

Devant le jury composé de:

- Président : Milla A — Maitre de conférences A (ENSV)
- Promoteur : Boudjellaba S — Maitre-Assistant A (ENSV)
- Examinateur 1: Benatallah A — Maitre de conférences B (ENSV)
- Examinateur 2 : Idrès T — Maitre-Assistant A (ENSV)

Année universitaire : 2015 / 2016

Remerciements

Nous tenons avant tout à remercier Allah Subhanahou wa Taala, le miséricordieux, tout puissant, car sans son aide et sa bienveillance, rien de cela n'aurait pu être possible.

On remercie également madame Mila Amel de nous avoir fait l'immense honneur d'être la présidente de notre jury. Nous lui présentons nos hommages respectueux

Nous souhaitons exprimer toute notre gratitude et adresser nos sincères remerciements à Monsieur Boudjellaba Sofiane notre promoteur, pour avoir accepté de diriger ce projet, pour ses précieux conseils et expérience qu'il a partagé avec nous, tout le temps qu'il nous a consacré, et son soutien infaillible. Sa dévotion et sa passion pour son travail sont admirable et une source d'inspiration. Trouvez ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect les plus sincères.

Nous remercions aussi, Madame Benatellah Amel et Monsieur Idrès Takfarines d'avoir accepté d'examiner notre travail et de faire partie de notre jury. Hommages respectueux.

Nos profonds remerciements pour notre concepteur et informaticien Kerkech Mohamed, sans qui ce projet n'aurait jamais vu le jour.

Nos remerciements vont également pour le Docteur Chouya F. qui a été la première à nous donner son avis et à nous encourager pour poursuivre ce projet.

Un grand merci à tout le corps enseignant et pédagogique de l'école supérieure vétérinaire qui nous a suivis tout au long de notre parcours universitaire.

Dédicaces

Je dédie ce projet de fin d'études

A mes chèrs parents qui présentent pour moi la source de courage et de tendresse. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime et le respect que j'ai toujours pour eux, rien au monde ne vaut les sacrifices et les efforts nuit et jour qu'ils ont éprouvés pour mon éducation et ma réussite le long de ma vie. Espérant que ce travail leur soit une récompense et un témoignage de ma profonde reconnaissance et de mon amour. Que DIEU tout puissant les garde et leur procure santé et bonheur ainsi qu'une longue vie.

A ma tendre grand-mère qui représente une source d'attachement, elle a fait plus qu'une grand-mère puisse faire pour ces petits enfants. Elle m'a élevé et pris soin de moi depuis mon enfance. DIEU la protège et la garde pour nous.

A ma chère sœur Manel ainsi que son mari Khaled et ses deux petits anges Souheil et Dounia.

A ma très chère sœur Imen ainsi que son mari Nacer et ses deux petits anges Mounder et Moueness.

A ma très chère sœur Loubna. Que DIEU la garde

A ma binôme Malika Chahrazed KERKECH, que sans elle je n'aurai jamais su faire ce travail seule et pour tous les moments et amitié qu'on a partagé depuis qu'on s'est rencontrées, je lui souhaite tout le bonheur du monde.

A mes ami(e)s et mes camarades de classe : en témoignage de ma sincère amitié. Je les remercie pour tous les moments agréables qu'on a passé ensemble tout au long de nos années d'études. Je leur souhaite une vie pleine de bonheur de réussite et de prospérité.

A tous mes amis d'enfance.

Besma BOUAKKAZ

Dédicaces

Je dédis ce modeste travail à mes chers parents qui ont toujours été là pour moi, et qui m'ont apporté le meilleur des modèles de labeur et de volonté. Je ne saurais exprimer le respect, l'affection et l'estime que j'ai à votre égard. J'espère que vous trouverez en ce travail toute ma reconnaissance pour tous les sacrifices effectués et l'immense amour dont vous me comblez tous les jours. Puisse le tout puissant vous guider et vous procurer santé et bonheur.

A mes deux frères : Mohamed et Nazim : Veuillez trouver en ce travail un modeste témoignage de toute ma gratitude, de mon affection la plus sincère et de mon attachement le plus profond.

A ma chère binôme Besma Bouakkaz. Toujours là l'une pour l'autre depuis le premier jour de notre rencontre, ces moments partagés ensemble resteront à jamais gravés en moi. J'espère que notre amitié grandira au fil des années.

A tous les étudiants vétérinaires où que vous soyez. Voyez en ce modeste travail une introduction pour pousser davantage et à l'infini les limites de notre domaine et l'enrichir par la même occasion.

Malika Chahrazed KERKECH

Table des matières

Introduction

Chapitre 1 : Physiologie de la reproduction

1. Les étapes de la vie sexuelle des femelles ---------- 02

1.1. Période infantile ---------- 02

1.2. Période d'activité sexuelle débute par la puberté ---------- 02

1.3. L'âge de la puberté ---------- 03

2. Le cycle sexuel de la femelle et le mécanisme hormonal ---------- 03

2.1. Cycle œstral ---------- 03

2.2. Cycle utérin ---------- 04

2.2.1. Pendant le pro-œstrus ---------- 04

2.2.2. Au moment de l'œstrus ---------- 04

2.2.3. Pendant le post-œstrus ---------- 04

2.2.4. Pendant le di-œstrus ---------- 04

2.3. Cycle hormonal ---------- 04

2.3.1. Les glandes sécrétrices des hormones ---------- 04

3. La régulation hormonale du cycle sexuel ---------- 05

3.1. L'étage hypothalamique ---------- 05

3.1.1. L'hypothalamus ---------- 05

3.1.2. Rôle physiologie et la sécrétion pulsatile du GnRH ---------- 06

3.2. L'étage hypophysaire ---------- 07

3.2.1. L'hypophyse ---------- 07

3.2.2. Rôle physiologique et sécrétion des gonadotrophines (LH et FSH) ---------- 07

3.2.3. Relation structure-activité des gonadotrophines ---------- 07

3.2.4. Contrôle de la sécrétion des gonadotropine ---------- 08

3.2.5. Les Isoformes des gonadotropines ---------- 09

3.2.6. La sécrétion pulsatile des gonadotropines ---------- 09

3.3. L'étage ovarien ---------- 10

3.3.1. Les œstrogènes biosynthèse et rôles ---------- 10

3.3.2. Les voies de la stéroïdogénèse ---------- 11

3.3.3. Compartimentation de la stéroïdogénèse ---------- 12

3.3.4. La stéroïdogénèse extra-glandulaire ---------- 13

3.3.5. Rôle biologique des œstrogènes ---------- 13

3.3.6. Régulation des enzymes de la stéroïdogénèse ---------- 14

4. La folliculogénèse ---------- 14

4.1. Les différentes étapes du développement folliculaire ---------- 15
4.1.1. Croissance folliculaire basale ---------- 15
4.1.2. Développement folliculaire terminal ---------- 15
4.2. Rôle des facteurs de croissance ---------- 17
4.3. Rôle des autres fluides protéiques folliculaires ---------- 17

Chapitre 2 : Les signes des chaleurs

1. Phases des chaleurs ---------- 19
2. Facteurs affectant l'expression des chaleurs ---------- 19
2.1. Bâtiments et mode de logement ---------- 20
2.2. Boiteries et problèmes de locomotions ---------- 20
2.3. Nombre de vaches susceptibles de chevaucher la vache en chaleur ---------- 20
2.4. Facteurs nutritionnels ---------- 20

Chapitre 3 : Les différents détecteurs des chaleurs

1. Détecteurs basés sur le dosage de la Progestérone ---------- 21
2. Détecteurs basés sur la pression lors du chevauchement ---------- 22
a. Le système radio-télémétrique ---------- 22
b. Les patchs et le changement de couleur ---------- 22
3. Détecteurs basés sur l'activité physique des animaux ---------- 22
a. Les podomètres ---------- 23
b. L'accéléromètre ---------- 23
4. Détecteurs basés sur la température corporelle ---------- 23
5. D'autres détecteurs des chaleurs chez la vache ---------- 24
a. Le pH vaginal ---------- 24
b. Détection des chaleurs par vidéo surveillance ---------- 24
c. Détecteur électronique d'odeur ---------- 24
d. Les femelles androgénisées ---------- 24
6. Comparaison entre les différents détecteurs ---------- 24

Partie Pratique

Matériels et Méthodes

1. Présentation du Cahier des charges ---------- 26
2. Choix du réalisateur (électronicien & développer) ---------- 26
3. Traitement d'images ---------- 26

Résultats et discussions

1 Description du détecteur (Hard) ---------- 28

1.1 Description du dispositif ---------- 28

1.2 Description de l'émetteur ---------- 29

1.3 Rescription du récepteur ---------- 29

2 Présentation du logiciel de détection des chaleurs ---------- 32

3 Présentation des tables du logiciel de détection des chaleurs ---------- 33

3.1 Table des vaches ---------- 33

3.2 Table des éleveurs ---------- 33

3.3 Table des traitements ---------- 34

3.4 Table des chaleurs ---------- 34

3.5 Table des vaccinations ---------- 34

3.6 Tables des inséminations ---------- 34

3.7 Table des vêlages ---------- 35

3.8 Les tables des parents (géniteurs) ---------- 35

3.9 Fenêtre du détecteur de chevauchement ---------- 35

4 Les forces et les limites de ce détecteur ---------- 37

4.1 Les avantages ---------- 37

4.2 Les limites ---------- 37

Conclusion & Recommandation ---------- 38

Liste des figures

Figure 1 : Les voies de la stéroidogénèse sexuelle (Tostain et al, 2004).....11

Figure 2 : mise du dispositif de détection des chaleurs (émetteur) sur la croupe d'une vache …….28

Figure 3 : représentation de la plaque électronique de l'émetteur 30

Figure 4: représentation de la carte-mère électronique de l'émetteur 30

Figure 5 : représentation de la plaque électronique du récepteur. …….31

Figure 6: représentation de la carte-mère électronique du récepteur. 31

Figure 7 : Image représentant l'interface du menu principal du logiciel 33

Figure 8 : Image représentant la fenêtre dédiée aux enregistrements des chevauchements détectés. (Dans les cas où l'appareil est connecté ou déconnecté)……36

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les différents principaux détecteurs des chaleurs……...……25

Tableau 2 : description des critères des différents composants du dispositif……...……..27

Liste des abréviations

ARNm : Acide ribonucléique messager

BHB: Bêtahydroxybutyrate

CG: Chorionique Gonadotrope (Hormone)

DHA: déhydroépiandrostérone

DHA-S: sulfate de déhydroépiandrostérone

E2: œstradiol

E3: œstriol

EL: SA: Enzyme-Linked Immunosorbent Assays

F.D: Follicule dominant

FSH: Follicle Stimulating Hormone

GnRH: Gonadotropin Releasing Hormone

IA: Insémination Artificielle

IGFs: insulin-like growth factor

IGFBPs: Insulin-like growth factor-binding protein

kDa: kilodalton

LCD: liquid crystal display

LDH: lactodéshydrogénase

LH: Luteinizing Hormone

LRH: Luteising Releasing Hormone

OGF: Opioid Growth Factor

P4: Progesterone

pH: Potentiel hydrogen

PMSG : Pregnant Mare Serum Gonadotropin

SF: steroidogenic factor

SCF: Stem Cell Factor

SIM: Subscriber Identity Module

TSH: thyréostimuline

TGF-beta: transforming growth factor-Beta

USB: Universal Serial Bus

Partie Théorique

Introduction :

L'intérêt de l'élevage bovin laitier dans l'économie du pays réside dans l'instauration de l'autosuffisance en lait et en viande. Pour une bonne rentabilité de l'élevage et dans l'objectif d'avoir un veau chaque année, les vaches doivent être mises à la reproduction dans les meilleurs délais après le vêlage. Une bonne détection des chaleurs est évidente pour maitriser le moment opportun de l'insémination artificielle. La détection régulière des chaleurs reste la clé de réussite de la reproduction dans l'exploitation. Cependant, cette détection est devenue difficile vue l'agrandissement de la taille des troupeaux et la diminution de la main d'œuvre, donc le temps consacré à la surveillance des chaleurs est devenu un facteur limitant. Il est à noter qu'un manque de détection fait perdre trois semaines de la vie productive. Effectivement, un retard de fécondation d'un cycle fait remplacer 03 semaines de forte production laitière (de la prochaine lactation) par 03 semaines de faible production (de l'actuelle lactation).

De nombreuses avancées technologiques ont été mises en place pour améliorer et faciliter à l'éleveur la détection des chaleurs, entre autres, les détecteurs de chevauchements. Toutefois, ils restent des moyens relativement chers pour l'éleveur, étant donné qu'ils soient importés (achetés par devise étrangère) et sans service après-vente en cas de panne.

Pour cette raison, nous avons pensé, en collaboration avec le monde électronique (*Hard*) et l'informatique (*Soft*), à élaborer un dispositif détecteur des chaleurs par chevauchement chez la vache avec un modeste logiciel qui présente une vue d'ensemble des troupeaux bovins laitiers d'une ou plusieurs fermes. Donc, nous nous sommes inscrites dans une logique de conception d'un outil pas cher, facile à manipuler et efficace qui assistera l'éleveur dans sa besogne quotidienne qui est la détection des chaleurs.

Chapitre 1

Physiologie de la reproduction

Les phases de la vie sexuelle et la formation des ovules (Ovogénèse) : Trois étapes divisent la vie sexuelle des animaux d'élevage mais l'ovogénèse commence bien avant la naissance de la femelle, elle se déroule en quatre phases :

- Plusieurs mitoses : avec production d'ovogonies.
- Accroissement donnant des ovocytes I.
- Méiose donnant des ovocytes II puis des ovotides.
- Cyto-différenciation donnant des gamètes mûrs ou ovules.

Dès la huitième semaine de gestation, dans l'ovaire de l'embryon, les ovogonies se multiplient activement par méiose. Ainsi se constitue un stock d'ovogonies de plusieurs millions dès la quinzième semaine, ovogonies qui commencent aussitôt à dégénérer : c'est l'atrésie. Si bien qu'à la naissance de la femelle, il n'en reste plus que quelques centaines de milliers. Toujours avant la naissance, une partie de ces ovogonies débutent leur accroissement et leur méiose, devenant des ovocytes de premier ordre. Mais accroissement et méiose s'arrêtent à la naissance ou peu après (en prophase de première division de la méiose) : une longue période de repos commence jusqu'à la puberté.

1. Les étapes de la vie sexuelle des femelles.

1.1. Période infantile :

Les organes génitaux, qui existent depuis la période embryonnaire, subissent pendant cette période un lent développement. Il en est de même des glandes mammaires. La sécrétion des hormones sexuelles est alors très réduite, et les différences morphologiques et physiologiques entre mâle et femelle sont presque nulles.

1.2. Période d'activité sexuelle débute par la puberté :

La puberté est caractérisée par un ensemble de manifestations qui ont pour origine les secrétions d'hormones sexuelles, la testostérone pour le mâle et l'œstradiol chez la femelle, ces hormones sexuelles provoquent à partir de la puberté l'apparition ou l'accentuation des caractères sexuels secondaires. Mais la puberté se traduit aussi par le début d'activité de la gamétogénèse ou formation des gamètes :

- Chez le mâle, la production et l'essaimage des spermatozoïdes.
- Chez la femelle, l'apparition des chaleurs et l'ovulation.

Toutes ces manifestations sont dues aux sécrétions hormonales de l'hypophyse : avant la puberté l'hypophyse sécrétait surtout des hormones de croissance, à partir de la puberté,

l'hypophyse sécrète surtout des hormones sexuelles, ce qui explique que parfois la puberté puisse s'accompagner d'un léger ralentissement de croissance (Soltner, 2001).

1.3. L'âge de la puberté

Varie selon l'espèce, la race plus ou moins précoce, le niveau d'alimentation (un niveau plus élevé rend l'animal plus précoce avec certaines limites), le mode d'élevage (les veaux élevés longtemps sous la mère sont plus tardifs que ceux issus de troupeaux laitiers) Mais l'âge de la puberté ne signifie pas bien sûr l'âge de leur mise à la reproduction.
L'ovogénèse reprend à chaque cycle après la puberté, ainsi à chaque cycle, un seul ovocyte (ou plusieurs dans le cas des espèces multipares) continue son évolution dans un follicule de De Graaf (Johnson et Everitt, 2002).Les autres ovocytes attendent un prochain cycle, mais la plupart dégénèrent progressivement au cours de la vie de la femelle (atrésie) si bien qu'à un certain âge, le stock d'ovocytes est épuisé : c'est l'arrêt de la fécondité de la femelle. Chez la vache, cet arrêt intervient vers 10-12 ans. Au total, à raison d'un vêlage par an, la génisse et la vache auront produit en tout une trentaine d'ovules. La brebis (1 à 3 ovules par ovulation) en aura produit une soixantaine, la truie (15 à 40 ovules par ovulation) en produira entre 250 et 600 (Soltner, 2001).

2. Le cycle sexuel de la femelle et le mécanisme hormonal

Le fonctionnement sexuel de la femelle est cyclique, chez la vache, tout au long de l'année (car n'ayant pas de rythme saisonnier), l'appareil génital en commençant par les ovaires jusqu'aux voies génitales, subit des transformations au cours d'un cycle de 16 à 24 jours en moyenne 20-21jours.

2.1. Cycle œstral : On distingue dans ce cycle quatre phases :

- **Le pro-œstrus** : correspond au développement, sur l'ovaire, d'un ou de plusieurs follicules, et à la sécrétion croissante d'œstrogènes (surtout l'œstradiol). Le pro-œstrus dure en moyenne 3 jours.
- **L'œstrus** : chaleurs correspond à la maturation du follicule et à la sécrétion maximale d'œstrogènes qui dure en moyenne 1 jour.
- **Le post-œstrus**: Débute par l'ovulation et se caractérise par la formation du corps jaune et la sécrétion croissante de progestérone, hormone qui « prépare à la gestation » Il dure en moyenne 8 jours.
- **Le Di-œstrus:** Voit la régression du corps jaune faute de gestation, et la chute de sécrétion de la progestérone. Dure environ 8 jours.

2.2. Cycle utérin :

Au cours du cycle, sous l'effet de l'œstradiol, puis de la progestérone, la muqueuse interne de l'utérus ou endomètre, et celle du col, évoluent ainsi :

2.2.1. Pendant le pro-œstrus :

L'épithélium de l'endomètre s'épaissit, se vascularise (des vaisseaux sanguins minuscules s'y développent) et se garnit d'abondantes glandes tubulaires. Dans le col, largement entrouvert (1cm de diamètre) un mucus particulier, le mucus cervical (ou glaire cervicale) commence à se liquéfier.

2.2.2. Au moment de l'œstrus :

La congestion de l'utérus se poursuit, surtout au niveau des cotylédons. Le col s'ouvre davantage (2 cm environ) et le mucus cervical liquéfié apparaît à l'extérieur de la vulve de la vache en longs filaments. Pendant le pro-œstrus et surtout l'œstrus, la paroi musculaire de l'utérus est parcourue de contractions qui deviennent maximales sitôt l'ovulation. Ces contractions ont pour but de favoriser la remontée éventuelle des spermatozoïdes.

2.2.3. Pendant le post-œstrus :

L'action de la progestérone accentue les modifications utérines dues à l'œstradiol : la muqueuse de l'endomètre se développe au maximum. En fin de période, la glande tubulaire de l'utérus sécrète un liquide blanchâtre, le Lait utérin, dont la sécrétion s'intensifiera s'il y a gestation. Ce lait est particulier aux ruminants, joue un rôle dans la nutrition du fœtus. Dans le col qui se ferme, le mucus cervical s'épaissit et ne coule plus. A mesure que la progestérone prédomine sur les œstrogènes, les contractions de l'utérus se calment et disparaissent en fin de période, condition nécessaire pour l'éventuelle nidation de l'embryon (Soltner, 2001).

2.2.4. Pendant le di-œstrus :

Enfin, la chute du taux de progestérone entraine la régression de l'endomètre mais sans rupture. Cette chute de la sécrétion de progestérone par le corps jaune est accentuée en fin de cycle par une décharge de prostaglandine $PGF_{2\alpha}$ par l'utérus. Le col se ferme hermétiquement par un bouchon de mucus cervical épais, qui, en cas de gestation prend la consistance du caoutchouc.

2.3. Cycle hormonal :

2.3.1. Les glandes sécrétrices des hormones :

Quatre organes ont la faculté de sécréter des hormones jouant un rôle dans le fonctionnement sexuel de la femelle.

2.3.1.1. L'hypothalamus :

Appelé encore le plancher du cerveau sécrète la LRH (Luteising Releasing Hormone) encore appelée gonadolibérine ou GnRH, cette hormone stimule les sécrétions hormonales de l'antéhypophyse, situé juste sous l'hypothalamus.

2.3.1.2. L'antéhypophyse :

Appelé encore le lobe antérieur de l'hypophyse, petite glande située juste sous le plancher du cerveau, sécrète deux hormones ; la follitropine ou FSH (Follicule stimulating Hormone) et la LH ou Lutropine (Luteostimulating hormone), ces deux hormones sont sécrétées, aussi bien par le mâle que par la femelle, mais chez la femelle, elles agissent sur les deux formations ovariennes, le follicule et le corps jaune.

2.3.1.3. L'ovaire :

Il sécrète deux hormones l'œstradiol (et en moindre quantité un autre œstrogène : l'œstrone) et la progestérone.

2.3.1.4. Le placenta :

Lors de gestation, secrète des hormones à action LH qui entretiendront la sécrétion de progestérone par le corps jaune. On dit que ces hormones sont lutéotropes, chez certaines espèces le placenta sécrète également des œstrogènes et de la progestérone, allant jusqu'à prendre le relai du corps jaune, c'est le cas chez la femme mais aussi la brebis, et dans une moindre mesure, chez les autres espèces (Soltner, 2001).

3. La régulation hormonale du cycle sexuel

3.1. L'étage hypothalamique

3.1.1. L'hypothalamus :

L'hypothalamus fait partie du diencéphale et situé entre les parties centrales et antérieures du cerveau, localisées sous le thalamus. Il s'étend entre le chiasma optique et la commissure antérieure vers l'avant et les corps mamillaires vers l'arrière. Les neurones hypothalamiques secrétant le GnRH régulent la synthèse et la sécrétion de la LH et de la FSH par l'hypophyse antérieure. Le GnRH est libéré dans les vaisseaux du réseau porte, d'une façon pulsatile. Il se lie à ses récepteurs situés sur les cellules gonadotropes dont il induit l'activité sécrétoire sur le même mode pulsatile. Les hormones hypothalamiques sont une

famille de molécules agissant pour régler la sécrétion de l'adénohypophyse. Ce sont des « releasing Hormone » aussi appelées « libérine » ou des molécules inhibant la libération des hormones antéhypophysaires « Inhibiting Hormone » ou « statine » (Johnson et Everitt, 2002).

3.1.2. Rôle physiologique et la sécrétion pulsatile de la GnRH :

La GnRH est une hormone membre d'une famille de polypeptide produite par des cellules neurosécrétrices. C'est un décapeptide dérivé par clivage d'un précurseur plus grand appelé prépro-GnRH (Thibault et Levasseur, 2001).

La GnRH est considérée comme le médiateur commun final le plus important de tous les facteurs d'intervention du système nerveux central sur la reproduction. La relation qui lie la sécrétion de la GnRH et celle des hormones hypophysaires est le modèle pulsatile ou « pulse circhoraire ». Le générateur de cette pulsatilité du GnRH semble être situé au niveau de l'hypothalamus, c'est l'horloge circhoraire. Les modalités pulsatiles de la sécrétion de la GnRH sont cruciales pour les sécrétions des gonadotropes (Bliss et al, 2010). Ainsi, les neurones Hypothalamiques secrétant la GnRH régulent la synthèse et la sécrétion de la LH et de la FSH par l'hypophyse antérieure. Le GnRH est libéré dans les vaisseaux du réseau porte d'une façon pulsatile. Elle se lie à ses récepteurs situés sur les cellules gonadotropes dont elle induit l'activité sécrétoire sur le même mode pulsatile déclenchant la libération de Ca^{2+} intracellulaire, provoquant une libération transitoire de FSH et de LH (Roch, 1996). Après une période de plusieurs heures d'exposition à des pulses réguliers de GnRH, la biosynthèse même des gonadotrophines est également stimulée (Johnson et Everitt, 2002). Après liaison, les complexes GnRH-récepteur se maintiennent au niveau de la surface cellulaire tandis que certains d'entre eux seront internalisés par des vésicules mantelées (*coated pits*) vers les structures lysosomiales où le peptide hormonal est dégradé. Une exposition continue des cellules gonadotropes à la GnRH entraine le maintien de l'occupation des récepteurs et aboutit finalement à leur internalisation totale et à une réduction du contenu et de la sécrétion hypophysaire en LH et FSH (Johnson et Everitt, 2002), en effet la nature pulsatile de sa sécrétion est nécessaire pour éviter l'internalisation totale (down régulation) de ses récepteurs (Roch, 1996).

3.2. L'étage hypophysaire

3.2.1. L'hypophyse :

La glande hypophysaire (ou pituitaire) siège dans la selle turcique (ou fosse hypophysaire) de l'os sphénoïde. Elle est divisée en 2 zones anatomiquement distinctes : Une zone glandulaire, l'adénohypophyse et une zone nerveuse : La neurohypophyse, l'éminence médiane qui est un mince lobe intermédiaire représenté par une fente verticale sépare les parties antérieure et postérieure de la glande pituitaire. Sa vascularisation est très riche émanant des artères carotidiennes internes par l'intermédiaire de leurs branches hypophysaires supérieure et inférieure. Le drainage s'effectue par de courts vaisseaux qui émergent de la surface glandulaire pour entrer dans les sinus veineux avoisinants (Johnson et Everitt, 2002).

3.2.2. Rôle physiologique et sécrétion des gonadotrophines (LH et FSH)

L'activité endocrine des gonades dépend des sécrétions hormonales hypophysaires gonadotropes ou gonadotropines. Elles ont pour origine le lobe antérieur de l'hypophyse, ce sont la FSH (Follitropine) et la LH (Lutropine). Ces hormones sont de nature glycoprotéique. Les gonadotropines (FSH et LH) stimulent la sécrétion de stéroïdes gonadiques qui, à leur tour, exercent un rétrocontrôle sur leur propre sécrétion par une action au niveau de l'hypophyse (contrôle des sécrétions des hormones gonadotropes) et au niveau hypothalamique (contrôle des sécrétions des gonadolibérines).

3.2.3. Relation structure-activité des gonadotrophines

Il existe une relation entre la structure des gonadotropines et leur activité. En effet les gonadotropines sont constituées de 2 chaînes polypeptidiques associées de manière non covalente (sous unités alpha et beta) (Thibault et Levasseur, 2001). Au sein d'une espèce la sous unité alpha est identique pour toutes les hormones glycoprotéiques hypophysaires et placentaires : FSH, LH, TSH et CG. Elle est le produit d'un seul gène. A l'opposé, la sous unité β est spécifique de chaque hormone. Les sous unités β de ces hormones sont codées par des gènes différents (Thibault et Levasseur, 2001). Chacune des sous unités prises isolément n'a pas d'activité biologique. Par conséquent, il faut que les 2 sous unités soient associées pour acquérir une activité (Johnson et Everitt, 2002).

La demi-vie des gonadotropines hypophysaires est très courte : elle varie de 20-120 min selon les hormones et selon les espèces. Les demi-vies moyennes de LH et de FSH sont respectivement de 30 min et de 2-4 h. A l'opposé, les gonadotropines chorioniques d'hCG, eCG (PMSG) ont une demi-vie qui varie de plusieurs heures à plusieurs jours (Thibault et Levasseur, 2001).

Les gonadotropines ont un récepteur spécifique transmembranaire. Après déglycosylation complète, elles peuvent se lier aux récepteurs. La déglycosylation s'accompagne cependant de la perte de leur activité biologique. C'est donc la partie polypeptidique qui est impliquée dans l'association hormone-récepteur. Les chaines polysaccharidiques des gonadotrophines interviennent directement dans la transmission du message hormonal après qu'il y ait eu liaison de l'hormone à son récepteur (Green et al, 1986) ou bien, elles « activent » indirectement les hétérodimères polypeptidiques αβ en affectant leur conformation et/ou leur flexibilité (Purohit et al 1997).Ainsi, la déglycosylation ne modifie pas la liaison de l'hormone à son récepteur. Par contre l'hormone déglycosylée n'est plus capable de stimuler la réponse des cellules cibles.

3.2.4. Contrôle de la sécrétion des gonadotropines:

Il y a de grandes divergences dans les profils de sécrétion des deux hormones gonadotropes. McNeilly et al, 1995 ont évoqué un paradoxe de la libération de LH et FSH. Elle se fait par la même gonadolibérine mais exige différents mécanismes de contrôle intracellulaires.

Les gonadotrophines synthétisées sont stockées dans des granules sécrétoires dans le cytoplasme, et sont sécrétées de façon différente par exocytose. Il semble y avoir un stockage prolongé de la LH au cours du cycle, contrairement à la FSH qui est stockée que pendant une courte période. La libération de FSH ne serait pas à caractère pulsatile, et généralement ne coïncide pas avec la libération de LH. Ainsi, la libération de LH est strictement régulée par l'action de la GnRH, alors que la libération de FSH est une voie plus constitutive. En effet, sa synthèse est suivie par la libération plutôt que par un stockage.

L'inhibine et l'œstradiol agissent directement sur l'hypophyse antérieure pour diminuer l'expression du gène codant la sous-unité de FSH. Ils agissent en réduisant à la fois la transcription et la stabilité de l'ARNm. Ces effets priment sur l'action de la GnRH quant à la libération de la FSH. L'Œstradiol provoque une diminution importante de la FSH, tandis que la LH est initialement diminuée puis augmentée. L'Inhibine supprime la FSH, sans

affecter la sécrétion LH (Roche, 1996). L'Immuno-neutralisation soit de l'inhibine ou d'œstradiol pendant le cycle œstral augmente la FSH, et la neutralisation combinée des deux hormones à la fois est équivalente à une ovariectomie.

3.2.5. Les Isoformes des gonadotropines :

Les analyses plasmatiques et urinaires des gonadotropines révèlent pour chaque hormone, une hétérogénicité de taille considérable qui reflète de petites modifications du profil de glycosylation. Etant donné que ces modifications de la glycosylation peuvent également affecter la charge électrique de la molécule, celle-ci se présente selon une gamme d'isotypes acides et basiques (Johnson et Everitt, 2002). La majorité des études sur les isoformes de la FSH montrent que l'œstradiol est associé à une libération accrue d'isoformes moins acides de FSH, et les androgènes sont associés à une libération accrue d'isoformes plus acides de la FSH (Chappel et al, 1983), (Blum et Gupta, 1989), (Beitins et Padmanabhan , 1991).

On observe une modification des proportions des différentes isoformes sécrétées de gonadotropines en fonction des états physiologiques (cycle, castrations, etc). La sécrétion d'isoformes des gonadotropines possédant des activités différentes de stimulation pourrait être l'un des mécanismes de régulation fine des activités gonadique par l'hypophyse (Thibault et Levasseur, 2001).

3.2.6. La sécrétion pulsatile des gonadotrophines :

La puberté est atteinte lorsqu'un processus de maturation au niveau du système nerveux central, qui se traduit par un flux pulsatile de GnRH vers le système hypophyso-gonadique. Le passage de la période pré-pubère à la puberté se traduit pas une augmentation de la fréquence des pulses de LH. Inversement, un ralentissement de l'activité sexuelle (anœstrus saisonnier) est associé à une réduction de la fréquence des pulses de LH. Ainsi, l'ovulation est déclenchée par le pic pré-ovulatoire de LH qui implique une augmentation de la fréquence des pulses de LH. Le phénomène pulsatile n'est pas figé. La fréquence des pulses de LH varie pour coder l'état physiologique.

L'émergence de la vague folliculaire et la sélection d'un Follicule dominant se produisent dans différents environnements de LH (différents niveaux d'imprégnation à la LH) comme lors de la phase lutéale (1 pulse de LH toutes les 3-4 h) ou très tôt au post-partum (une impulsion toutes les 6-8h), ou encore, au début de la phase folliculaire (1 impulsion de LH toutes les heures) (Rahe et al.1980). Ainsi, il a été conclu que l'évolution de la cohorte

dépendante à la FSH avant la sélection du FD et n'est pas affectée par les différents changements d'impulsions de LH. Concernant la FSH, elle aurait un modèle de sécrétion continu, l'œstradiol provoque une diminution importante de la FSH. L'Inhibine supprime la FSH, sans affecter la sécrétion de LH (Roche, 1996). Cependant, les taux bas sériques rencontrés durant la phase lutéale du cycle sont dus à la stimulation sélective de la sécrétion de la FSH par l'Activine et la Follistatine, indépendamment de la GnRH (Roche, 1996).

Toutefois, des études ont pu démontrer que, à l'instar de la LH, le modèle sécrétoire de la FSH est sous forme d'impulsions discrètes (Padmanabhan et al. 1994). Effectivement, malgré une clairance circulatoire plus rapide des d'isoformes biopotents de FSH (rencontrée lors du début de la puberté et la période pré-ovulatoire), leur entrée pulsatile pourrait fournir un puissant stimulus nécessaire au développement du follicule pré-ovulatoire (Roche, 1996).

3.3. L'étage ovarien

3.3.1. Les œstrogènes biosynthèse et rôles

Les œstrogènes appartiennent à la famille des hormones stéroïdiennes. Ces dernières peuvent être regroupées en cinq (05) classes : les œstrogènes, les glucocorticoïdes, les minéralocorticoïdes, la progestérone et les androgènes qui sont synthétisées à partir d'un précurseur commun de biosynthèse des stéroïdes: le cholestérol (Nicholson-Weller, 1999).

Les œstrogènes sont des stéroïdes sexuels synthétisés principalement dans les ovaires par les follicules de DE GRAAF, mais aussi, ces hormones sont sécrétées par d'autres organes que les ovaires, cette sécrétion peut se dérouler au niveau des tissus périphériques tels que le placenta et les surrénales. Les œstrogènes endogènes existent sous trois formes : l'œstradiol, l'œstrone et l'œstriol. Le récepteur nucléaire des œstrogènes est formé de plusieurs sites fonctionnels (Payre, 2008).

- L'œstrone est essentiellement d'origine placentaire.
- L'œstriol est uniquement détecté dans le liquide folliculaire pendant la phase lutéinique.
- L'œstradiol est le principal œstrogène ovarien.

L'œstradiol est le principal œstrogène ovarien, il joue un rôle prépondérant dans le cycle ovarien en contribuant activement dans l'ovulation. Il permet également la croissance et le développement de l'utérus, du vagin et des glandes mammaires pendant la puberté (Ritzen, 2000).

3.3.2. Les voies de la stéroïdogénèse :

La biosynthèse des œstrogènes à partir du cholestérol en premier lieu fait intervenir le cytochrome P-450SCC qui convertit le cholestérol en prégnènolone par coupure de la chaîne latérale. En deuxième lieu, le cytochrome P-450C17 assure la coupure de la chaîne latérale de la prégnènolone et de la progestérone. En troisième lieu, la 3-hydroxystéroïde déshydrogénase assure la conversion du Δ5-3β-hydroxystéroïde en Δ4-3β-cétostéroïdes (androgène).

L'aromatisation des androgènes (androstènedione) en œstrogènes (Estrone) est assurée par le cytochrome P-450aro situé dans le réticulum endoplasmique. Elle comporte 2 hydroxylations du groupement méthyl en C19 et une hydroxylation sur le C3 suivies de la perte du carbone 19 et du réarrangement phénolique du cycle A (Thibault et Levasseur, 2001).

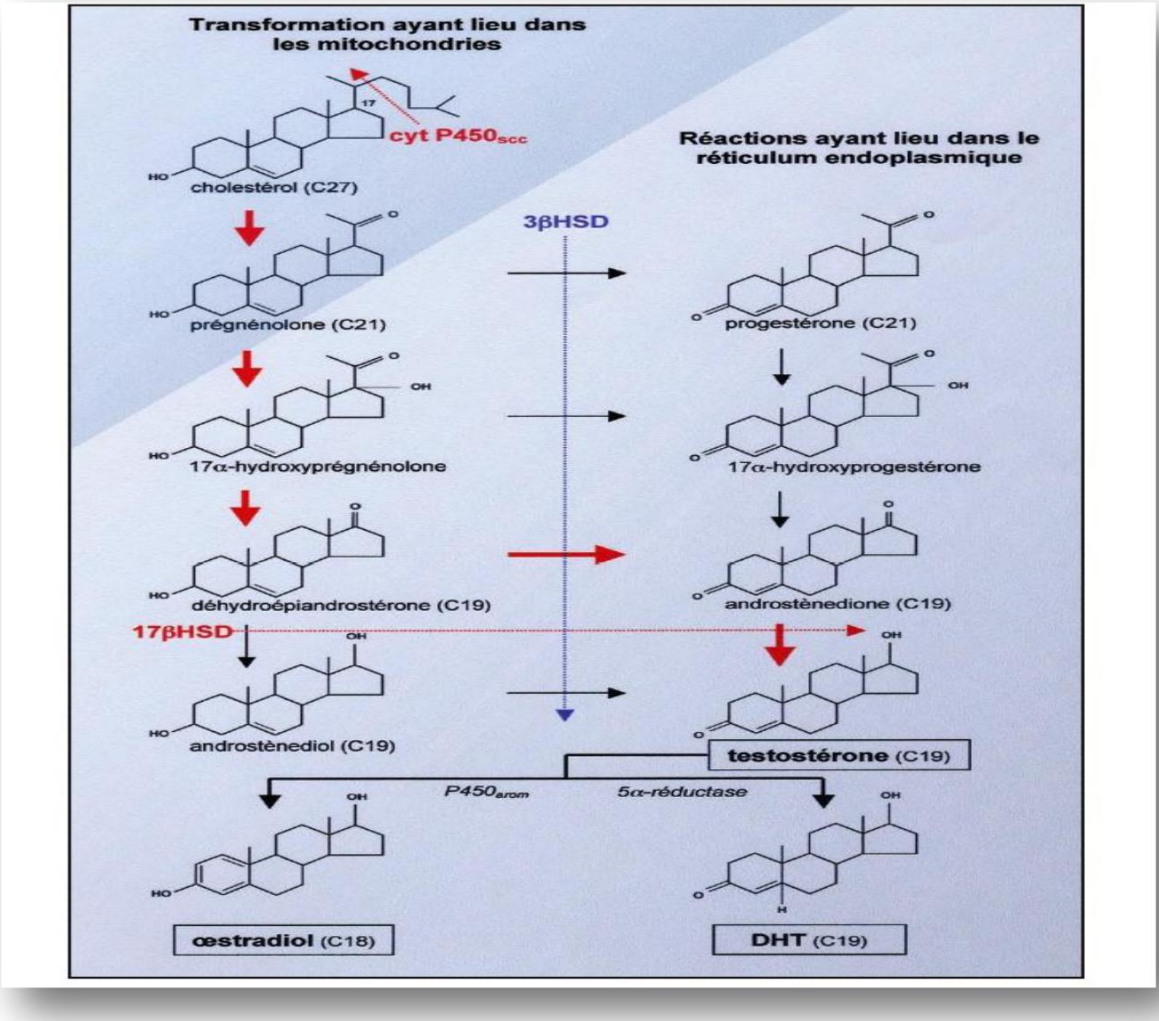


Figure 1 : Les voies de la stéroidogénèse sexuelle (Tostain et al, 2004).

3.3.3. Compartimentation de la stéroïdogénèse :

3.3.3.1. Compartimentation intracellulaire :

Le cholestérol accède au $P450_{scc}$ à la face interne de la membrane mitochondriale. La prégnènolone sort de la mitochondrie, pénètre le réticulum endoplasmique où elle est convertie en progestérone. Le réticulum contient le cytochrome P-450 réductase et éventuellement les cytochromes P-450C17 et $P\text{-}450_{aro}$ nécessaires à la biosynthèse des androgènes et des œstrogènes (Thibault et Levasseur, 2001).

3.3.3.2. L'ovaire :

Le follicule ovarien contient 2 types de cellules stéroïdogènes : les cellules de la thèque interne et les cellules de la granulosa. Elles diffèrent par leur équipement enzymatique. Les cellules de la granulosa sont dépourvues de cytochromes P-450C17, elles synthétisent de la progestérone mais ne peuvent donc pas synthétiser des androgènes, précurseurs des œstrogènes. Les cellules de la thèque peuvent assurer la conversion du cholestérol en progestérone et en testostérone. Les cellules de la granulosa importent les androgènes thécaux pour synthétiser les œstrogènes. Les cellules de la thèque possèdent un récepteur de la LH qui stimule la conversion du cholestérol en prégnènolone. Les cellules de la granulosa possèdent un récepteur de la FSH qui joue un rôle essentiel dans le contrôle de l'activité aromatase. La FSH induit le récepteur de la LH dans la granulosa du follicule pré-ovulatoire. La LH stimule la sécrétion de progestérone, qui ne devient importante qu'après l'ovulation et la transformation des cellules de la granulosa en cellules lutéales (Miller WL, 1988).

3.3.3.3. L'unité fœto-placentaire :

Les interrelations fœto-placentaires sont complexes. La surrénale fœtale est dépourvue d'activité 3α-hydrox-stéroïde déshydrogénase. Elle ne peut donc synthétiser la 17alpha-hydroxyprogestérone, précurseur du cortisol qu'à partir de la progestérone d'origine placentaire. Par contre, elle possède une forte activité sulfokinase et sécrète principalement des esters sulfates de stéroïdes. La surrénale fœtale sécrète du sulfate de déhydro-épiandrostérone (DHA-S) à partir de la prégnènolone d'origine placentaire (figure 20). Le placenta est dépourvu de P-450C17. Il importe le sulfate de déhydroépiandrostérone (DHA-S) d'origine maternelle et fœtale pour assurer sa production d'œstradiol (E2). Le DHA-S subit une 16-alpha-hydroxylation dans le foie fœtal. Le produit de la réaction est le 16-α hydroxy-

DHA-S, précurseur de l'œstriol (E3) sécrété par le placenta. C'est pour cette raison que ce stéroïde constitue un excellent indicateur de la vitalité fœtale. Le placenta importe le DHA-S d'origine maternelle et fœtale pour assurer sa production d'œstradiol (Jaffe, 1986).

3.3.3.4. Le testicule :

La stéroïdogénèse testiculaire est assurée par les cellules de Leydig. Outre la testostérone, celles-ci sécrètent de l'œstradiol, en quantités variables selon les espèces. La testostérone peut également être aromatisée par les cellules de Sertoli (Thibault et Levasseur, 2001).

3.3.4. La stéroïdogénèse extra-glandulaire :

La déhydroépiandrostérone(DHA) et l'androstènedione peuvent être converties en testostérone par divers organes dont le foie et la prostate. L'aromatisation des androgènes en œstrogènes se produit dans le tissu adipeux et joue un rôle important dans le système nerveux central. La conversion du cholestérol en prégnènolone a pu être démontrée dans des cellules cérébrales, des oligodendrocytes, les astrocytes et les cellules de Schwann et peut même se produire dans certains neurones (Robel et al, 1999).

3.3.5. Rôle biologique des œstrogènes :

Les œstrogènes conditionnent l'apparition des caractères sexuels secondaires chez les jeunes femelles et leur maintien chez les adultes : production épidermique, développement mammaire, instinct sexuel. Chez les femelles adultes, elles déclenchent l'œstrus, et, s'il ya fécondation, elles agissent en synergie avec les gestagènes pour conduire la gestation à son terme, et préparer la parturition et la lactation. Les œstrogènes agissent en synergie avec les androgènes, c'est la proportion relative de ces deux groupes d'hormones qui conditionne la sexualité. Avec de fortes doses d'œstrogènes, il y a une diminution, puis un arrêt de la spermatogénèse, atrophie testiculaire, modification du timbre de voix et évolution vers le type morphologie femelle, c'est ce qu'on appel : castration chimique (Vuillaume, 1997).

Le rétrocontrôle positif de l'œstradiol qui s'exerce sur l'hypophyse et l'hypothalamus lorsque les concentrations plasmatiques ont atteint un certain seuil est responsable du pic pré ovulatoire de LH qui induit l'ovulation. Pendant la gestation, les œstrogènes stimulent le développement de la glande mammaire et la multiplication des canaux galactophores. (GAYRARD, 2007).

A fortes doses, les œstrogènes peuvent provoquer un abaissement de la fécondité, des avortements (notamment chez la lapine) et une inhibition de la sécrétion lactée. Elles peuvent aussi provoquer une rétention d'eau dans l'organisme (par un mécanisme comparable à celui des minéralo-corticoïdes) (Vuillaume, 1997).

3.3.6. Régulation des enzymes de la stéroïdogénèse :

Le facteur SF1 qui est un récepteur nucléaire orphelin qui régule la transcription d'un grand nombre de gènes impliqués dans la stéroïdogénèse, ainsi le développement des gonades et des glandes surrénales. Ce dernier intervient à tous les niveaux de l'axe reproductif et joue un rôle primordial dans l'expression des cytochromes P-450scc et P-450C17 ainsi de la protéine StAR. Les hormones gonadotropes FSH et LH jouent un rôle essentiel dans la régulation de la biosynthèse des hormones stéroïdes sexuelles. De nombreux régulateurs intra-gonadiques potentiels ont été décrits, facteurs de croissance, cytokines et neuropeptides d'intervenir selon des modalités endocrines, paracrines, autocrines, neurocrines, voire intracrines. Il faut notamment signaler la famille des polypeptides apparentés au TGF-beta à laquelle appartiennent l'inhibine (hétérodimères αβA et αβB). Et l'activine dimère de sous unités (βA et βB). Le rôle principal de l'inhibine est son intervention dans le rétrocontrôle négatif de la FSH hypophysaire. La follistatine a un rôle semblable à celui de l'inhibine(Tostain et al, 2004).

4. La folliculogénèse:

IL s'agit de la succession de différentes étapes du développement du follicule ovarien depuis le moment de sa sortie de la réserve, constitué pendant la vie embryonnaire lors de l'ovogenèse, jusqu'à sa rupture au moment de l'ovulation ou à son involution (Soltner, 2001). Ce phénomène est continu étant donné que chaque jour, des follicules entrent en phase de croissance. Chez la plupart des mammifères, les follicules primordiaux évoluent très lentement vers les stades intermédiaires et primaires. Quand le noyau de l'ovocyte atteint environ 20-35 micromètre chez la vache le follicule entre en phase de croissance, caractérisé par un fort accroissement du diamètre ovocytaire, puis dans un second temps, du nombre de cellules de la granulosa(Thibault et Levasseur, 2001).

4.1. Les différentes étapes du développement folliculaire :

Le plus petit follicule est le follicule primordial constitué de l'ovocyte entouré de cellules aplaties. Il se transforme en follicule intermédiaire puis en follicule primaire lorsqu'il présente une couche de cellules cuboïdes et en follicule secondaire à partir de 2 couches de cellules de la granulosa. A ce moment, la thèque interne s'ébauche et la zone pellucide entourant l'ovocyte se forme. Les follicules primordiaux, intermédiaires et les plus petits primaires constituent le stock des follicules au repos. Ils représentent la majeure partie (>95%) de la population folliculaire ovarienne. Situés dans les couches les plus périphériques du cortex ovarien, ils sont noyés dans un tissu conjonctif dense (Thibault et Levasseur, 2001).

4.1.1. Croissance folliculaire basale :

La FSH n'est pas impliquée dans ce processus, cette croissance du follicule pré-antral est considérée comme indépendante des gonadotrophines (Scaramuzzi et al, 1993). Certains travaux de recherches ont montré que le SCF (Stem Cell Factor) synthétisé par les cellules de la granulosa ainsi que son récepteur c-kit présent à la surface de l'ovocyte, sont impliqués dans l'initiation de la croissance (Thibault et Levasseur, 2001). Chez les bovins, la croissance des follicules d'environ 300 micromètres de diamètre pour prendre une taille de 3-5 mm, est estimée plus de 30 jours (Lussier et al, 1987).

4.1.2. Développement folliculaire terminal :

Les follicules ayant atteint un diamètre entre 3 et 5 mm se trouvent au stade critique au-delà duquel leur croissance est strictement dépendante des niveaux minimaux de FSH (Monniaux et al, 2009). La folliculogénèse terminale débute dès ce stade critique et s'achève avec l'ovulation ou l'atrésie (Scaramuzzi et al, 1993). La croissance ultérieure (ou terminale) est rapide et se produit par « vague » avec des taux de croissance allant jusqu'à 2 mm/jour (Mihm et al, 2002).

a. Recrutement

Tous les follicules, hormono-dépendants, présents sur les ovaires entrent alors en croissance terminale (Recrutement) formant une cohorte comprenant plusieurs follicules de taille et de sensibilité différentes au gonadotropines. Les teneurs sériques en FSH sont alors compatibles avec la poursuite de la croissance de ce groupe de follicules. Elle coïncide avec l'apparition d'une activité de l'aromatase de la granulosa (Thibault et Levasseur, 2001).

La FSH constitue le signal endocrine impliqué dans ce recrutement. Cependant, L'IGF-I et la follistatine pourraient moduler l'action de FSH sur le recrutement. L'IGF-I augmente la taille de la cohorte recrutée, alors que la follistatine la réduit. Les effets de la FSH sont triples :

- Induction d'une activité aromatase.
- Stimulation de la production d'inhibine et de follistatine, (protéine qui lie l'activine). La balance inhibine/activine du liquide folliculaire évolue alors en faveur de l'inhibine
- Inhibition de l'expression d'une des protéines de liaison des IGFs, l'IGFBP-2, dans les cellules de granulosa chez la vache, ce qui contribue à augmenter la biodisponibilité des IGFs pour les cellules folliculaires.

b. Sélection

A mi-phase folliculaire, une sélection se produit et la taille de la cohorte est réduite en son nombre (Sélection). La sélection coïncide avec l'apparition des récepteurs de LH sur la granulosa, les IGFBP-2, -4 et -5 dans le liquide folliculaire et une forte production d'inhibine(Thibault et Levasseur, 2001). En effet, en réponse à la rétroaction négative de l'œstradiol et de l'inhibine sécrétés par ces follicules sur l'axe hypothalamo-hypohysaire, les concentrations sériques de FSH diminueront juste après le démarrage du développement terminal. Ainsi, le follicule qui bénéficie d'une "avancée" par rapport aux autres commence à secréter de plus en plus d'œstradiol ce qui aura comme effet une diminution importante des teneurs en FSH qui provoque l'atrésie des follicules de la cohorte (Monniaux, 2009).

c. Dominance

Le follicule est nommé "dominant" et ne souffrira pas de cette baisse sérique de FSH puisqu'il induira par rétroaction positive sur l'axe hypothalamo-hypophysaire, toujours par l'œstradiol, une forte augmentation de la fréquence des pulses de LH à laquelle il devient hypersensible, grâce à la très forte expression de récepteurs de LH dans ses cellules de granulosa. L'expression des deux marqueurs-clés de la différenciation folliculaire, CYP19A1 et LHCGR, est donc critique à l'établissement de la sélection du follicule pré-ovulatoire (Monniaux, 2009).

Il est à noter que chaque follicule est caractérisé par un équilibre local qui lui est propre, entre des facteurs paracrines stimulants (œstradiol, OGF1, activine…) et inhibiteurs (androgènes, les IGFBP, protéines de liaison des IGF, la follistatine qui est une protéine de 16

liaison de l'activine…) de son développement. De fait, une hiérarchie fonctionnelle établie entre follicules pourtants à priori au même stade de développement (Monniaux, 2009).

4.2. Rôle des facteurs de croissance:

Les Inhibines, l'activine, facteur de croissance insulinomimétique de type I (IGF-I) et leurs protéines de liaison ont des effets directs et indirects sur la granulosa et la thèque qui peut moduler le développement folliculaire et la stéroïdogénèse. Les Inhibines ont des effets autocrine et paracrine. Ils augmentent la synthèse des androgènes induite par la LH dans les cellules thécales, et leur production est stimulée par la FSH et des stéroïdes. Ainsi, il peut y avoir une boucle de rétroaction locale dans chaque follicule individuel impliquant un changement séquentiel des inhibines, activines et leurs protéines de liaison, qui déterminera au final le sort des follicules sélectionnés et non sélectionnés qui se développent dans le même environnement systémique des gonadotrophines et des hormones de croissance(Roche, 1996).

Ainsi, la croissance du follicule dominant et le renforcement de la production d'estradiol sont caractérisés par une baisse relative des concentrations d'inhibine, de l'activine et des protéines de liaison des l'IGFs. En revanche, l'apparition de l'atrésie et la perte de la capacité des follicules à produire d'œstradiol sont caractérisées par des concentrations relativement élevées de l'inhibine, de l'activine ou des protéines de liaison des IGFs (Roche, 1996).

Il est indiqué que les facteurs de croissance ont des actions négatives sur l'action gonadotrophique locale qui peuvent être impliquées dans le contrôle des processus de sélection du follicule et sa domination. Les connaissances actuelles indiquent qu'au cours du cycle œstral bovin, des changements différents dans les modèles de sécrétion de FSH et de LH stimulent des modifications dans les concentrations d'inhibine intrafolliculaires (34 kDa), de l'activine et l'IGFBP-2 qui, à leur tour, entraînent la sélection, la domination et de perte de la dominance des follicules dominants (Roche, 1996).

4.3. Rôle des autres fluides protéiques folliculaires :

Dans le liquide folliculaire, il existe beaucoup de protéines autres que les inhibines, activine, les IGF-I et leurs protéines de liaison qui peuvent être importants dans la sélection,

la domination et la stéroïdogénèse. Chez le bovin, le liquide du follicule dominant contient un inhibiteur de l'aromatase. Cet inhibiteur est produit par les cellules de la granulosa et stocké dans le liquide folliculaire (Roche, 1996).

Chapitre 2

Les signes des Chaleurs

Introduction

Les progrès réalisés ces 20 dernières années en matière de maitrise de la reproduction sont considérables, Certes, la reproduction naturelle avec le minimum d'intervention de l'homme persiste-t-elle dans certains élevages. Mais des techniques nouvelles, des plus simples aux plus sophistiquées, sont venues modifier les conditions de reproduction des animaux, la vache se distingue des autres par ses cycles indépendants de la saison, à ovulation spontanée (ne dépend pas de l'accouplement) et à anœstrus de lactation plus ou moins prononcé (ne reprend pas le cycle sitôt après mise bas) (Soltner, 2001).

1. Phases des chaleurs :

Le cycle de la génisse et de la vache sont en moyenne de 21jours, avec des chaleurs de 18 heures en moyenne dont le déroulement peut être divisé en 3 phases :

- **Une phase de préparation (de 6 à 10 heures) :**

La vache mange peu, flaire les autres vaches et cherche à les montrer. Dans les troupeaux allaitants, elle cherche à se rapprocher du taureau mais ne se laisse monter ni par le taureau ni par d'autres vaches. La vulve est légèrement gonflée, plus rouge et humide et peut laisser s'écouler de longs filaments muqueux translucides à jaune-clair ; c'est la glaire cervicale obturant le col de l'utérus, qui se liquéfie (Soltner, 2001).

- **Une phase de chaleurs vraies (de 16 à 18 heures) :**

On observe les mêmes manifestations, mais avec agitation plus prononcée. La vache meugle, cherche à chevaucher les autres vaches et se laisse monter par elles ou par le taureau. Si elle est en lactation, sa production laitière diminue légèrement ; c'est l'action inhibitrice qu'exerce la folliculine sur la prolactine, hormone de la sécrétion du lait.

- **Une phase de fin des chaleurs :**

La vache continue à flairer les autres vaches mais ne se laisse plus chevaucher. L'écoulement muqueux peut devenir moins clair, avec parfois des stries de sang.

2. Facteurs affectant l'expression des chaleurs :

L'expression et la détection des chaleurs peuvent être plus ou moins difficiles en fonction de nombreux facteurs (le type de stabulation, la santé de l'animal, le climat, la surpopulation, etc.). Dans les grands élevages, plus d'une vache peut venir en chaleurs simultanément. Lorsque cela se produit, la probabilité de détection des chaleurs augmente

parce que le nombre de chevauchement augmente fortement. Par contre, certains facteurs comme les fortes températures et humidité, le vent, la pluie, la neige, un espace confiné, et des types de pavement qui peuvent provoquer une glissade, une chute ou le mal de pattes tendent à réprimer l'expression des chaleurs (Wattiaux, 1996).

2.1. Bâtiments et mode de logement :

Il doit permettre les interactions sociales entre animaux, les vaches en étable entravée doivent être lâchées au moins une fois par jour, les vaches en logettes devraient disposer d'une aire non glissante, au béton suffisamment rainuré, pour exprimer les chaleurs. De trop fortes densités à un moment donné, par exemple dans l'aire d'attente de la salle de traite peuvent empêcher une vache qui n'est pas en chaleurs d'esquiver le chevauchement (Cauty et Perreau, 2003).

2.2. Boiteries et problèmes de locomotions :

Elles conduisent à des chevauchements moins nombreux ou à de fausses acceptations de chevauchement, par des vaches qui ont du mal à se déplacer. Il est important de surveiller l'état des pattes du troupeau, par un parage, une fois par an, des onglons trop longs et avoir une ration suffisamment fibreuse pour prévenir les boiteries liées à la sub-acidose (Cauty et Perreau, 2003).

2.3. Nombre de vaches susceptibles de chevaucher la vache en chaleur :

Lorsque les vêlages sont groupés, il devient très difficile, pour les « queues de lot » d'avoir dans le troupeau des vaches vides en pro-œstrus susceptibles de les chevaucher. Il faut parfois se résigner à inséminer sur des critères autres que l'acceptation du chevauchement (Cauty et Perreau, 2003).

2.4. Facteurs nutritionnels :

Les vaches hautes productrices, en fort déficit énergétique (perte d'état importante) en début de lactation expriment moins bien les chaleurs. Les vaches dont la balance énergétique est négative expriment significativement moins fréquemment leurs chaleurs lors de la première ovulation postpartum. En revanche, il ne semble pas y avoir d'effet significatif du niveau de la balance énergétique sur l'expression des chaleurs lors du cycle suivant (SPICER et al, 1990).

Chapitre 3

Les différents détecteurs des chaleurs

La détection des chaleurs reste le travail le plus important de l'éleveur. Effectivement, la rentabilité de l'élevage est essentiellement basée sur une bonne performance de la reproduction (Heersche, 1994). L'efficacité de la détection des signes de chaleurs dépend essentiellement de la fréquence et de la qualité des observations. Il est mis à la disposition des vétérinaires plusieurs protocoles hormonaux de synchronisation des chaleurs aidant l'éleveur à focaliser son attention sur ses vaches à un moment bien précis. En outre, des techniques nouvelles et outils modernes, des plus simples au plus sophistiqués sont venus améliorer sa précision de détection des chaleurs (Tableau n° 01). Il est clair que ce ne sont que des outils qui peuvent au besoin être utilisés conjointement les uns avec les-autres. Mais en aucun cas, ils ne doivent remplacer la vigilance et l'expérience de l'éleveur (Lacerte et al, 2008).

1. Détecteurs basés sur le dosage de la Progestérone :

La progestérone (P4) est une hormone stéroïdienne sécrétée par le corps jaune. Les vaches sont sensées être inséminées dans les taux les moins élevés de P4 dans le plasma et dans le lait. En effet, le taux de la P4 dans le lait est quatre (04) à (05) fois supérieur que les taux sériques. Le développement d'appareil et programmes intégrés aux lactoduc des salles de traite, ainsi que des kits ELISA de dosage de la P4 a rendu très facile de tracer le profil de chaque animal (Rao et al, 2013).

Parmi les détecteurs de chaleurs basés sur le dosage de la progestérone, on a le système Herd Navigator®. C'est un système automatisé associé avec un robot ou une salle de traite conventionnelle, il prélève un échantillon de lait automatiquement pendant la traite. Un échantillon de lait est prélevé, stocké et analysé, ensuite, la concentration en progestérone dans le lait est évaluée par ELISA et valorisée dans un algorithme qui trace le profil de chaque animal. Ce dernier permet de déterminer si les vaches sont en œstrus post-partum, si elles sont cyclées ou si elles sont gestantes (Clément et al, 2012). L'efficacité de détection des chaleurs est estimée à 95 %.

Ce système, non seulement, il permet de détecter les chaleurs en mesurant le taux de progestérone dans le lait, Mais aussi, il permet de :

1. Détecter les mammites en mesurant le taux de la lactodéshydrogénase « LDH » dans le lait : ça permet une détection précoce des mammites cliniques et sub-cliniques.
2. Détecter les acétonémies en mesurant le taux de la β-hydroxybutyrate « BHB »dans le lait : ça permet une détection précoce des acétonémies sub-cliniques, des acétonémies, des maladies métaboliques.

3. Le Hard Navigator détecte les niveaux d'urée dans le lait pour éviter le déséquilibre des aliments protéiques (Delaval, site web 1).

Certains systèmes incorporent le dosage de la 17β œstradiol au dosage de la P4, afin de prédire le moment pré-ovulatoire (Domenech, A et al, 2011°).

2. Détecteurs basés sur la pression lors du chevauchement :

a. Le système radio-télémétrique

Le détecteur est composé d'un système émetteur fixé sur la croupe de l'animal doté d'une antenne émettrice, d'une unité de réception radio, et d'un logiciel qui analyse les données de chevauchement reçues pour chaque vache enregistrée dans le programme sur un ordinateur (At-Taras et Spahr, 2001). L'attention est portée sur une vache dès qu'elle se fait chevaucher une seule fois, et elle est considérée en œstrus à partir de 3 chevauchements en moins de quatre '04) heures. L'efficacité du système est d'environ 91% (Rao et al, 2013).

Les transmetteurs du Heat-Watch® ont une portée de 400 mètres, et les relais ont une portée de 800 mètres, les signaux sont ensuite acheminés à un récepteur d'un rayon de 1200 mètres, Ils sont constitués de l'identification du module fixé à l'animal, de la date et de l'heure, de la durée du chevauchement ainsi que de la force du signal. Les données sont donc téléchargées, traitées puis consultables sur un seul et même ordinateur, (At-Taras et Spahr, 2001).

b. Les patchs et le changement de couleur :

Ce sont des patchs qu'on peut fixer sur la croupe de la vache, ayant le même principe que le précédent, sauf que le chevauchement est témoigné par un effacement de la couleur du patch (Rao et al, 2013).

Il existe d'autres variantes à ce dispositif (Kamar® et 'ŒstruFlash®). Les patchs contiennent un réservoir d'encre rouge ou fluorescente. Lors d'un chevauchement, la pression exercée par les congénères fait éclater le réservoir d'encre. L'encre étant facilement repérable par les éleveurs ou personnel de l'élevage. Les résultats sont assez fiables chez les vaches qui ont des chaleurs normales (Lacerte et al, 2008).

3. Détecteurs basés sur l'activité physique des animaux :

En période de chaleurs, l'activité physique des vaches augmentent significativement (Clément et al, 2012). Elles deviennent plus agitées et se déplacent deux (02) à quatre (04) fois plus par rapport aux vaches non-en-œstrus (Gatius-Lopez et al, 2005). Cette activité peut être mesurée par différents types de capteurs qu'on peut placer soit au niveau de l'un de ses

membres, on parle de podomètres soit au niveau de l'encolure, on parle d'accéléromètres, (Clément et al, 2012).

a. Les podomètres :

Ils mesurent le nombre de pas de l'animal et peuvent être utilisés pour l'identification de l'animal lors du passage dans la salle de traite (Clément et al, 2012). Le podomètre transmet un signal à l'ordinateur. L'éleveur peut alors vérifier chaque jour les vaches qui ont été plus actives que la moyenne (ex : Lactivator® et AfiTag®) (Guy Lacerte et al, 2008). En outre, certains podomètres émettent un signal lumineux ou vocal ou SMS comme alerte (ex : Heat Phone®, HeaTime®, HeatBox®) (Gatius-Lopez et al, 2005). L'efficacité de la détection de chaleurs est estimée de 90 à 96% (Rao et al, 2013).

b. L'accéléromètre :

Ils sont fixés sur l'encolure de la vache et mesurent son activité physique dans les trois dimensions. En plus de sa fonction principale comme détecteur des chaleurs, ils peuvent aussi renseigner le comportement ruminal de la vache (temps en position debout/couchée) (Clément et al, 2012).

4. Détecteurs basés sur la température corporelle :

On peut aussi détecter les chaleurs chez la vache en mesurant l'évolution de la température corporelle. En effet, la température moyenne baisse 2 jours avant le début des chaleurs et augmente d'environ 0,5°C au moment du pic de LH pré-ovulatoire. L'utilisation de ce paramètre pour la détection des chaleurs en combinaison avec l'activité de l'animal semble avoir un intérêt important (Clément et al, 2012). La transmission de cette mesure de température peut être effectuée par des systèmes radio-télémétriques. L'efficacité de ces systèmes est comprise entre 70 et 80 % (Rao et al, 2013). Il semble qu'une augmentation de la température du rumen peut indiquer un état d'oestrus. Elle est mesurée par des capteurs éléctroniques radio-télémétriques intra-ruminals (Bohmer et al, 2012)

Parmi les détecteurs de chaleurs basés sur la mesure de température, il existe le système ANEMON®. Ce système est composé d'un Capteur de température intra-vaginale à transmission sans fil. Ce capteur permet de communiquer régulièrement des mesures de la température de l'animal et sous forme d'alerte en cas de problème (faible niveau des batteries, perte du capteur, température anormalement élevée, crédit insuffisant sur la carte SIM) (*site web 2*).

5. D’autres détecteurs des chaleurs chez la vache

: a. Le pH vaginal :

Le pH est un bon indicateur des chaleurs chez la vache. En effet, le pH diminue de 7,0 à 6,72 un jour avant l’œstrus. En outre, il diminue immédiatement avant l’ovulation à un niveau de 6,45 (Rao et al, 2013).

b. Détection des chaleurs par vidéo surveillance :

Cette méthode permet à l’éleveur une surveillance continue de l’activité des vaches, en particulier, pendant la phase nocturne depuis sa demeure. Les systèmes commercialisés comprennent en général une caméra avec un éclairage infrarouge relié à un logiciel de gestion des séquences vidéo. Les images sont ensuite envoyées sur un téléviseur, un ordinateur ou un Smartphone (Clément et al, 2008).

c. Détecteur électronique d’odeur :

C’est un dispositif qui est basé sur la détection des phéromones liés aux chaleurs qui représentent le signal olfactif naturel pour le taureau. Il a été aussi démontré que des chiens formés par des échantillons de secrétions vaginales acquièrent la capacité de détecter les odeurs d’œstrus dans l’urine et le lait (Fischer et al, 2011).

d. Les femelles androgénisées :

Les vaches placées en présence de leurs congénères en chaleurs se livrent au chevauchement qui est par définition, une manifestation du comportement mâle. Cette méthode peut être mise en évidence par un apport exogène d'hormones androgèniques à la vache qui va adopter le comportement mâle (Gwazdauskas. et al, 1990).

6. Comparaison entre les différents détecteurs :

Le tableau ci-dessous montre les principaux détecteurs de chaleurs des vaches laitières commercialisés de par le monde. Certains de ces détecteurs sont très onéreux et sophistiqués qui ne seront rentables que dans les grandes exploitations ou à titre expérimental (dosage des hormones …). D’autres sont plus au moins accessibles aux élevages considérés comme modernes.

Tableau 1 : Les différents principaux détecteurs des chaleurs.

Marque	**Principe de détection**	**Intérêts**	**Inconvénients**	**Le prix (devise)**	**Le prix (DA)****
Herd Navigator®	Dosage de progestérone	Performance de détection Prédiction de l'ovulation	Coût élevé Troupeau >120 vaches laitière	50000 €	6256428,70
Heat Watch®	Mesure de chevauchement	Assez bonne sensibilité Peu de faux positifs	Ne mesure que l'acceptation du chevauchement	4000 USD	440359,99
ANEMON®	Mesure de température	Efficacité de détection 70-80 %	Interaction avec état de fièvre.	1500 CHF* (1363,07 €)	169189,62
Lactivator® Afitag®	Podomètre	Assez bonne sensibilité Technologie robuste et éprouvée	Incompatible avec les boiteries Ne donne pas la période d'inséminati on optimale	10,83 €	1355,15
Htag® Moo Monitor®	Accéléromètre	Assez bonne sensibilité Peu de faux positifs	Ne donne pas la période d'inséminati on optimale	29 €	3628,74

(*) : CHF : monnaie utilisée en suisse (1 CHF = 0,91 €, selon la banque centrale européenne ; juin 2016)
(**) : Conversion selon le taux de change Banque Algérie ; juin 2016.

Partie Pratique

Matériels & Méthodes

L'efficacité et rentabilité des élevages bovins laitiers reposent sur la maîtrise de la reproduction des vaches. L'éleveur est contraint d'observer fréquemment ses femelles (matin et soir) en se basant sur le signe le plus évocateur des chaleurs qui est l'acceptation du chevauchement. A cet effet, nous nous sommes fixées à élaborer un dispositif capable de détecter les chevauchements.

Afin d'atteindre notre objectif d'étude, nous avons suivi la démarche suivante : D'abord, sur la base d'une recherche bibliographique sur la physiologie de la reproduction de la vache laitière et les différents détecteurs existants sur le marché international, nous avons rédigé un **Cahier des charges technique** répondant à certaines exigences rencontrées dans les élevages. Ensuite, on a présenté le **Cahier des charges technique** à un jeune étudiant en électronique et en programmation informatique.

1. Présentation du Cahier des charges technique :

Le présent cahier des charges définit les descriptions techniques pour la réalisation du dispositif de détection des chaleurs par chevauchements avec ses deux (02) composantes (Hard & Soft) Tableau 2.

Nous nous sommes focalisées que sur les points essentiels afin d'atteindre notre objectif principal. Il consiste à réaliser un enregistreur des cas de chevauchements chez une vache en chaleurs. Certaines options incluses dans ce cahier des charges peuvent être considérées comme amélioratrices du service rendu par le détecteur. Par conséquent, elles peuvent être facultatives ou à la rigueur, limitées aux caractéristiques de base (ex : la taille de la mémoire, la distance couverte par l'émetteur …).

2. Choix du réalisateur (électronicien & développer)

Notre choix du concepteur n'était pas suite à un appel d'offre mais il était justifié par le fait que Mr Mohamed KERKECH (frère d'une des candidates) jeune étudiant en Master **Système Intelligent de Télécommunication** à l'université de Bab Ezzouar (USTHB). On lui a laissé toute libre attitude pour le choix des composantes électroniques (le capteur pression) et le logiciel de programmation adéquat.

3. Traitement d'images

La qualité des images présentées dans la partie résultats (dispositif sur les animaux et les schémas des cartes électroniques…), sont traitées et améliorées par le logiciel PhotoShop®.

Tableau 2 : description des critères des différents composants du dispositif.

Désignation	Critères	Description
Emetteur (Hard)	Chevauchement	Capable de détecter les chevauchements à travers un capteur de pression.
	Communication	Capacité de communiquer par radio fréquences.
	Format	De petite taille et compact épousant la forme de la croupe de la vache.
	Autonomie	Faible consommation d'énergie
	Usage répété	Il doit reconnaitre seulement qu'une seule vache mais il peut être réutilisé sur d'autres vaches.
	Robustesse	Le boitier doit être robuste pour supporter le poids d'animal au moment du chevauchement
	Sécurité	Il doit être conçu par de matériaux non-nuisibles à la santé de l'animal (électrocution, risque d'accident liée à l'ingestion de tout ou une partie du dispositif …)
	Longue portée	Il doit couvrir à un rayon le plus long possible (400 m).
Récepteur (Hard)	Connexion PC	Possibilité de se connecter facilement à un PC (compatibilité des systèmes d'exploitation Microsoft, Mac).
	Signaux radio	Il ne doit pas interférer avec d'autres ondes radio (Fréquence spécifique au dispositif seulement).
	Affichage	Il doit afficher le dernier enregistrement (Date, heure et nombre de chevauchement)
	Mémoire	Capacité d'enregistrement élevée (en Méga ou Giga octets).
	Autonomie	Faible consommation d'énergie
	Alarme	Eventuellement, il peut être doté d'une alerte sonore ou autres (lumineux, SMS …)
Logiciel (Soft)	Base de données	Bonne architecture de la base de données, capable de recevoir des modules d'extension.
	Conception	Simplicité de manipulation.
	Fonctionnalité	– Il doit permettre d'importer et d'exporter les données sous plusieurs formats (fichier Excel, Word, PDF …). – Il doit participer à la gestion de l'élevage par les différents tris de la base de données (sur le plan sanitaire, stock de l'aliment, vêlage, nurserie …).

Résultats & Discussion

1 Description du détecteur (Hard) :

1.1 Description du dispositif :

La figure 2 présente la mise en place du dispositif sur la croupe d'une vache. Par l'intermédiaire d'une pochette contenant l'émetteur. La fixation sur l'animal par un harnais avec des attaches en scratch afin de s'adapter aux différentes conformations corporelles des vaches. Aussi, cette pochette protège, par la biais d'un tissu spongieux, le dispositif du poids des congénères lors du chevauchement ainsi que ces dernières des parties dûres du dipositif.

Figure 2 : mise du dispositif de détection des chaleurs (émetteur) sur la croupe d'une vache

1.2 Description de l'émetteur :

La figure 3 et la figure 4 représentent respectivement les composantes de l'émetteur ainsi que l'architecture de sa carte électronique (carte mère). On remarque l'antenne de l'émetteur ainsi que le port USB pour la connexion avec la batterie de forte capacité d'autonomie égale à 4000 milli-Ampère/heure (à titre exemple : les meilleurs smartphones possèdent des batteries de 2000 à 2500 mAh). Le capteur de pression est aussi visible peut être réglé en fonction du degré de sensibilté souhaitée. Les différentes composantes électroniques sont illustrées dans la figure 4.

1.3 Description du récepteur :

Les figures 5 et 6 représentent, respectivement, la photographie réelle du récepteur des ondes radio du dispositif ainsi que le schéma de sa carte-mère électronique. Les autres plans d'architecture des circuits des cartes-mères (émetteur et récepteur) sont regroupés dans l'annexe 1.

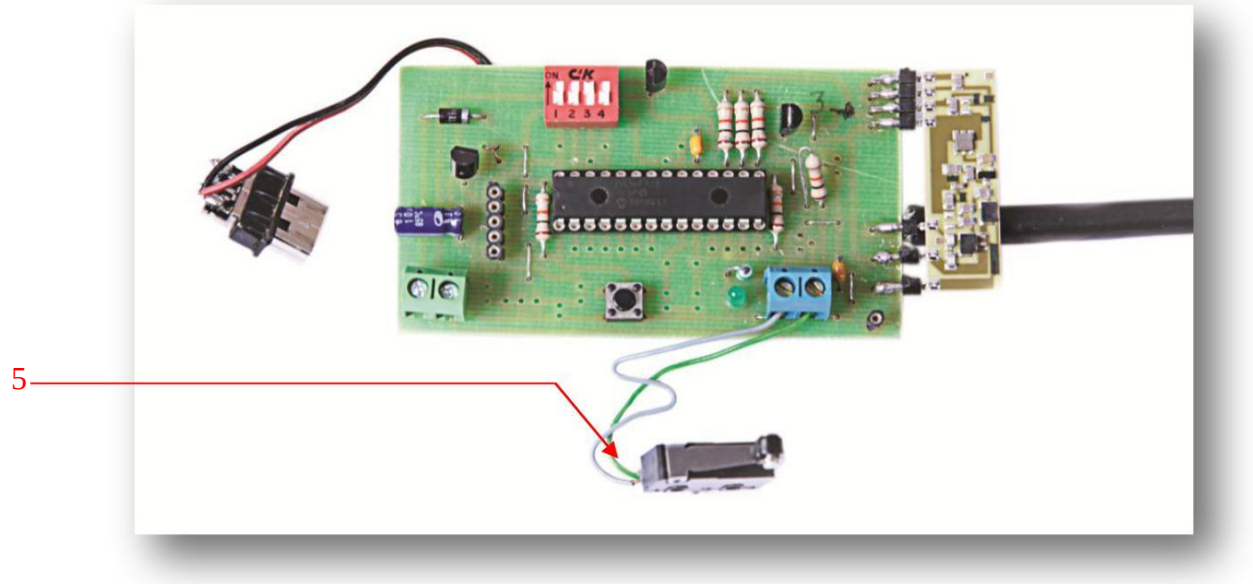
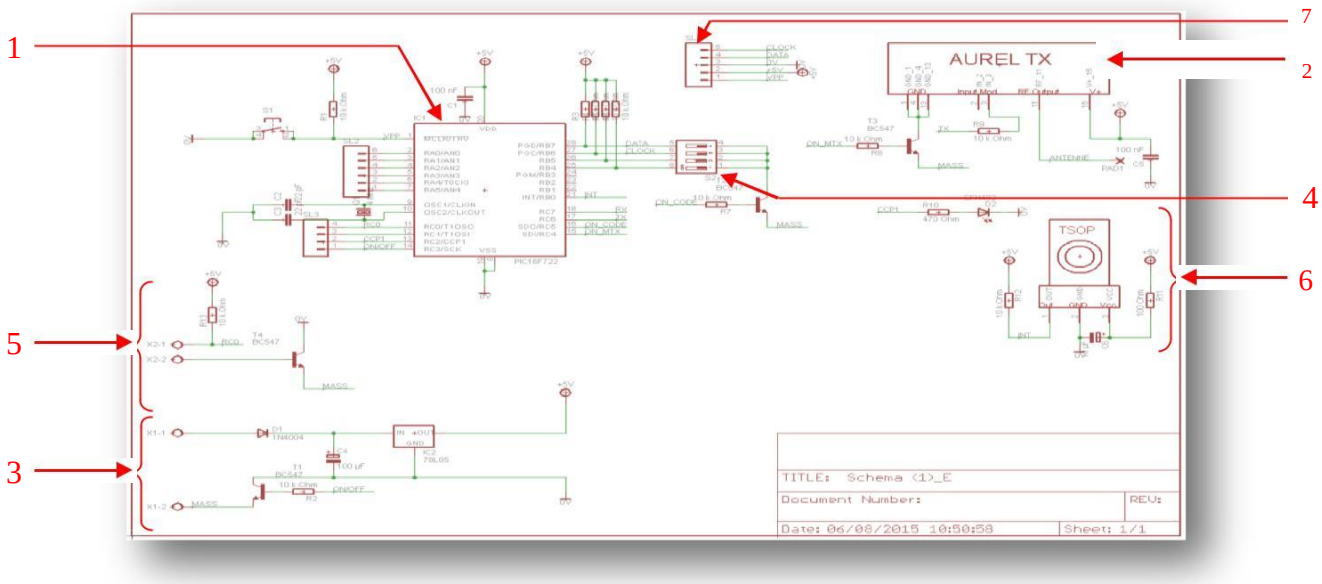


Figure 3 : représentation de la plaque électronique de l'émetteur



1 : Microcontrôleur.
2 : Emetteur radio fréquence.
3 : Alimentation.
4 : Micro-switch de configuration.
5 : Entrée du capteur de détection de pression.
6 : Récepteur infra rouge.
7 : Connecteur de programmation du microcontrôle

Figure 4: représentation de la carte-mère électronique de l'émetteur

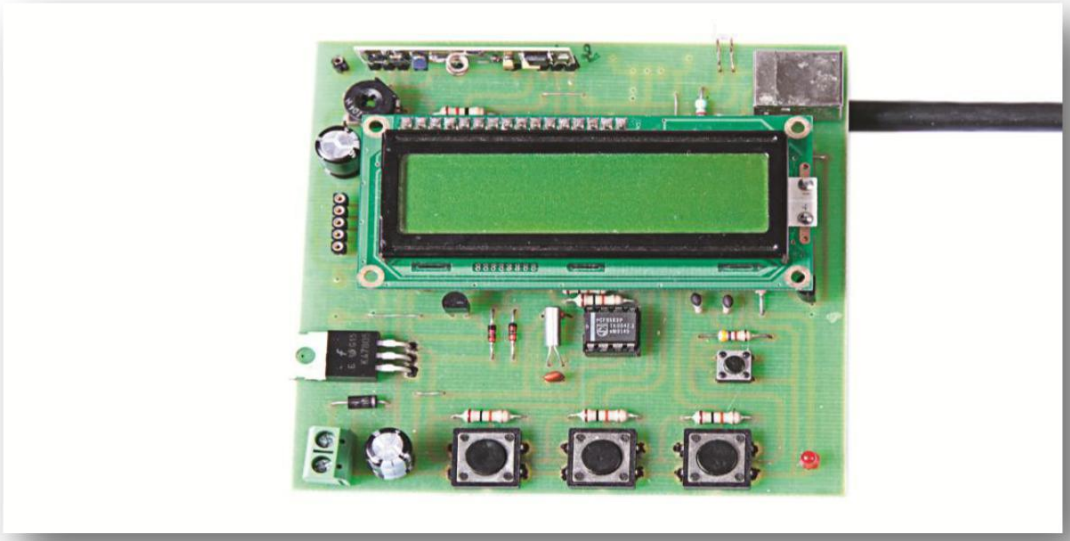
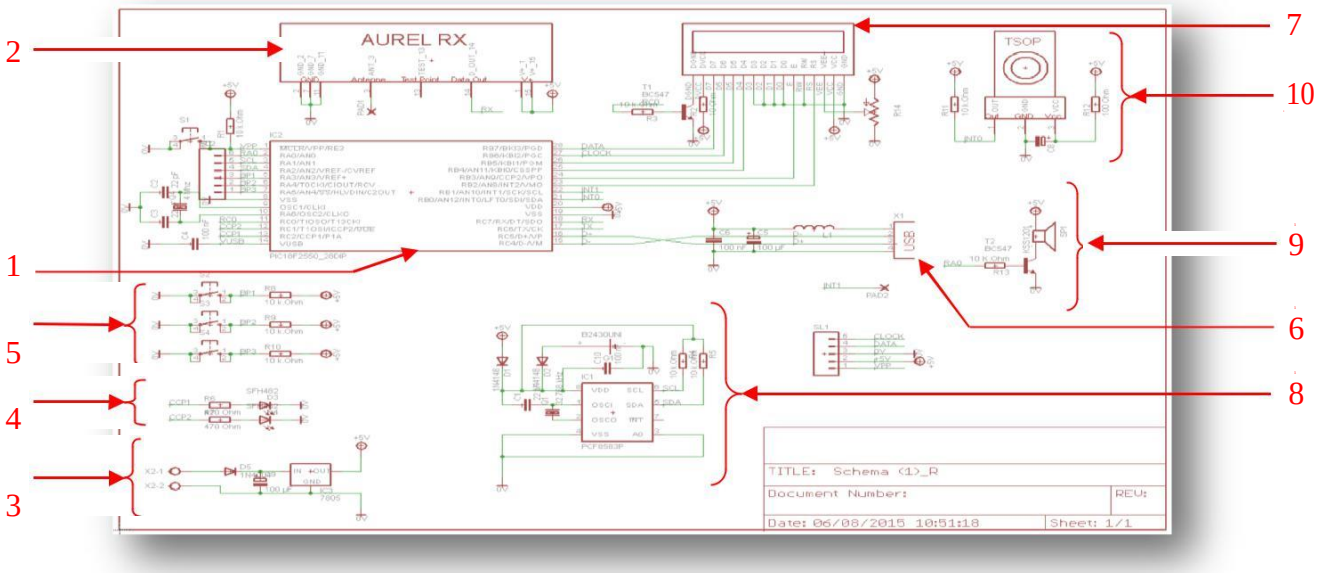


Figure 5 : représentation de la plaque électronique du récepteur.



1 : Microcontrôleur.
2 : Module de réception radio fréquence.
3 : Alimentation.
4 : Led de signalisation.
5 : Circuit bouton poussoir.
6 : Connecteur USB.
7 : Afficheur LCD.
8 : Horloge temps réel.
9 : Circuit buzzeur .
10 : Récepteur infra rouge.

Figure 6: représentation de la carte-mère électronique du récepteur.

2. Présentation du logiciel de détection des chaleurs:

C'est un logiciel qui permet d'aider l'éleveur dans la gestion de son exploitation et le suivi de son troupeau. C'est un logiciel de simple utilisation avec une fenêtre propre au détecteur de chevauchement sur laquelle, lors de la monte, un signal est envoyé à partir de l'émetteur du dispositif vers son récepteur. Ce signal va être transformé en données numériques qui vont être à leur tour affichées sur l'ordinateur. En outre, il présente dans sa base de données plusieurs tables qui contribueront au bon suivi du troupeau (insémination, mise bas, traitement, vaccination). Il permet aussi au vétérinaire de gérer les exploitations à traiter.

Les différentes tables du logiciel sont les suivantes :

1. Table des vaches.
2. Table des taureaux.
3. Tables des mères.
4. Tables des pères.
5. Table des traitements.
6. Table des vaccinations.
7. Tables des chaleurs.
8. Table des inséminations.
9. Table des vêlages.
10. Fenêtre du détecteur des chevauchements.

Ces dernières (tables) comprennent chacune un volet de navigation. Chaque volet (une table) possède toutes les fonctionnalités de navigation, à savoir, l'enregistrement direct des données sur la table sélectionnée, Modification possible en cas d'erreur, Recherche rapide et indexée des données et suppression des données erronées. L'image 6 représente l'interface du menu principal du logiciel.

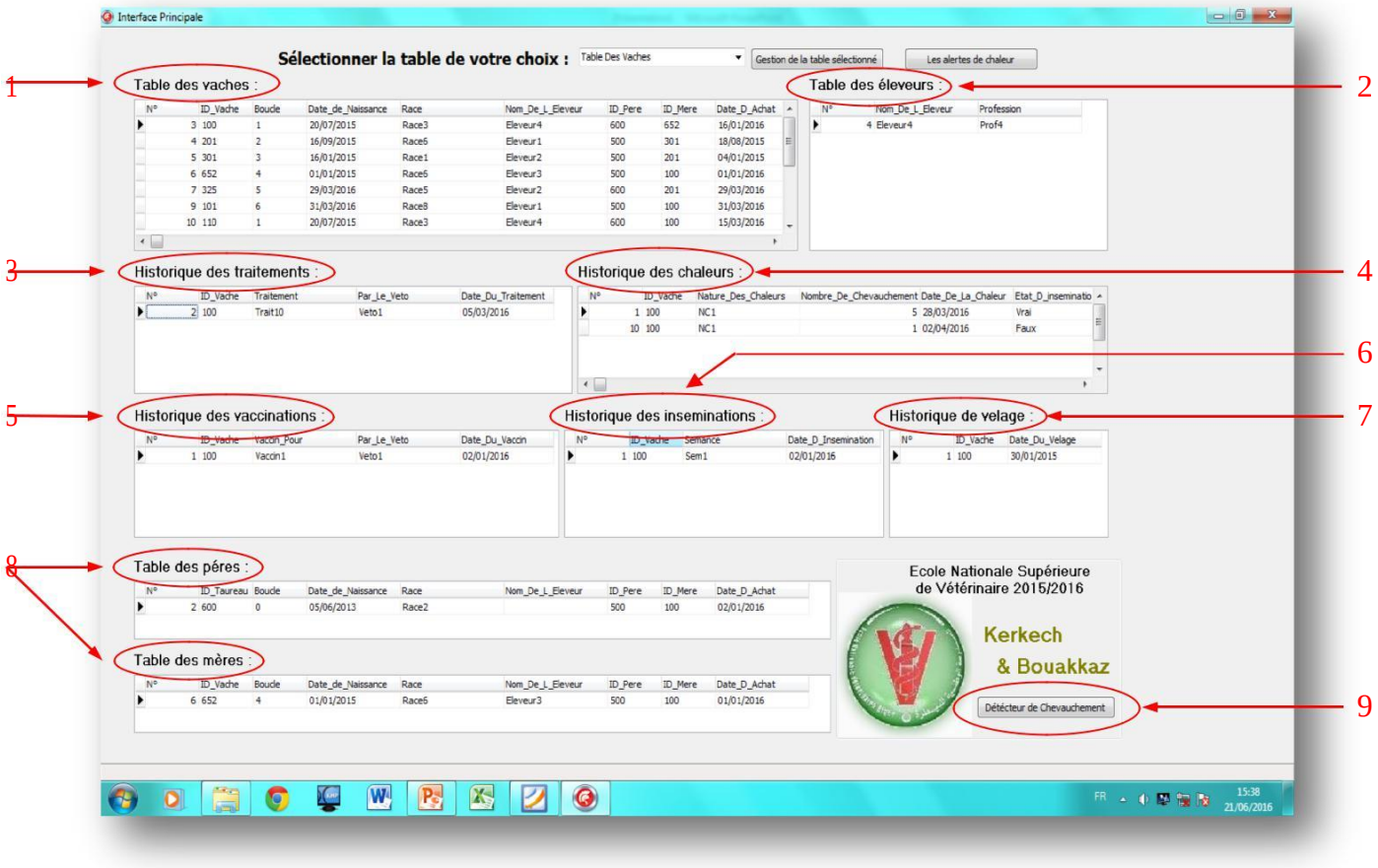


Figure 7 : Image représentant l'interface du menu principal du logiciel

3. Présentation des tables du logiciel de détection des chaleurs:

3.1. Table des vaches :

C'est une table qui comprend les données relatives à chaque vache qui appartient à l'exploitation tels que : le numéro d'identification, la date de naissance, la race, la date d'achat, l'identification des parents. Ces informations pourront être traitées ultérieurement en programmant d'autres requêtes (ex : l'âge de l'animal peut être calculé à temps réel à partir le l'information : Date de naissance).

3.2. Table des éleveurs :

Ce logiciel pourrait être aussi utilisé par les vétérinaires qui encadrent plusieurs exploitations. Il possède une table sur le logiciel qui l'aide dans son travail. Sur cette dernière sont enregistrés les noms de tous les éleveurs que lorsqu'on sélectionne l'un des noms enregistrés, on peut reconnaitre les femelles qui appartiennent qu'à son troupeau affichées sur la table des vaches ainsi que les mâles sur la table des taureaux.

3.3. Table des traitements :

Une autre table qui comprend l'historique des traitements apportés aux vaches. Sur cette table est inscrit le numéro d'identification de la vache, le traitement instauré, le nom du vétérinaire qu'il a prescrit et la date de l'instauration du traitement. Cet historique est dirigé par un volet de gestion sur lequel on peut rechercher un éleveur par son nom ou bien sa profession, comme on peut aussi soit modifier, supprimer ou ajouter des informations.

3.4. Table des chaleurs :

Cette dernière comprend l'historique des chaleurs des vaches enregistrées sur le logiciel. Pour chaque vache qui a été détectée en chaleurs par l'intermédiaire du dispositif et affichée sur la table qui appartient au détecteur de chevauchement. Le nombre de chevauchement est enregistré sur la table des chaleurs ainsi que la date de vue en chaleurs. On peut aussi inscrire l'état de l'insémination pour chaque vache c'est-à-dire, pour chaque vache qui a été chevauchée trois (03) ou plus dans un délai de quatre (04) heures voire six (06) heures. On peut dire que cette vache est en chaleurs et donc son réenregistrement dans la colonne de « état-d'insémination » est vrai. Pour une vache qui a été chevauchée moins de trois (03) fois c'est-à-dire, que cette vache n'est pas vue en chaleurs son état d'insémination est faux.

3.5. Table des vaccinations :

Une table incluse dans ce logiciel sur laquelle sont enregistrés tous les vaccins réalisés sur les vaches notées dans le programme. Cette dernière comprend plusieurs renseignements tels que : le nom d'identification des vaches, le vaccin effectué sur chaque vache, le nom du vétérinaire qui les a vaccinées et la date de vaccination.

3.6. Tables des inséminations :

Cette dernière comprend l'historique des inséminations pour chaque vache appartenant à une exploitation donnée. Ce qui est enregistré sur cette table est : le numéro d'identification de la vache, le type de semence ainsi que la date d'insémination. Et comme les autres tables, elle est gérée par un volet de gestion sur lequel, on peut rechercher des données, les modifier, les supprimer ou bien ajouter de nouveaux renseignements.

3.7. Table des vêlages :

Elle comporte l'historique des vaches qui ont vêlé, sur cette dernière est enregistrée la date du vêlage pour chaque vache enregistré sur le logiciel. Aussi un volet de gestion qui gère cette table sur lequel, on peut rechercher des données, les modifier, les supprimer ou bien ajouter de nouvelles informations pour une nouvelle vache qui vient soit de vêler ou d'être gestante.

3.8. Les tables des parents (géniteurs) :

Deux tables séparées qui comprennent les données relatives des deux parents (mères et pères) dans une exploitation donnée. Sur ces dernières sont enregistrées les informations suivantes : Numéro d'identification du père (mère), la boucle d'identification, la date de naissance, la race, le nom de l'éleveur de l'exploitation, la date d'achat ainsi que l'identification de leurs parents aussi. Et comme toute autre table, elle est gérée par un volet de gestion de troupeau sur lequel on peut rechercher des données, les modifier, les supprimer ou bien ajouter de nouvelles informations.

3.9. Fenêtre du détecteur de chevauchement :

Elle est liée au détecteur de chevauchement. Lors d'un chevauchement, un signal est envoyé à partir de l'émetteur du dispositif qui est fixé sur la croupe de la vache vers le récepteur du dispositif qui peut être connecté au PC, ces données vont être affichées sur cette table. Cette table comprend la date ainsi que l'heure exacte, un historique de chevauchement, un volet de mise à jour de l'horloge, un volet d'actualisation ainsi qu'un volet de gestion. Lors d'un chevauchement, la date et l'heure exactes de chevauchement sont enregistrées sur la table. Sur cette table est enregistrée une liste de chevauchement. La fenêtre nous renseigne aussi sur l'état de connexion de l'émetteur avec le récepteur en affichant le texte « appareil connecté » ou « appareil déconnecté ». Cette dernière qui est gérée par le volet de gestion sur lequel on peur rechercher des données, les modifier, les supprimer et même ajouter de nouvelles informations.

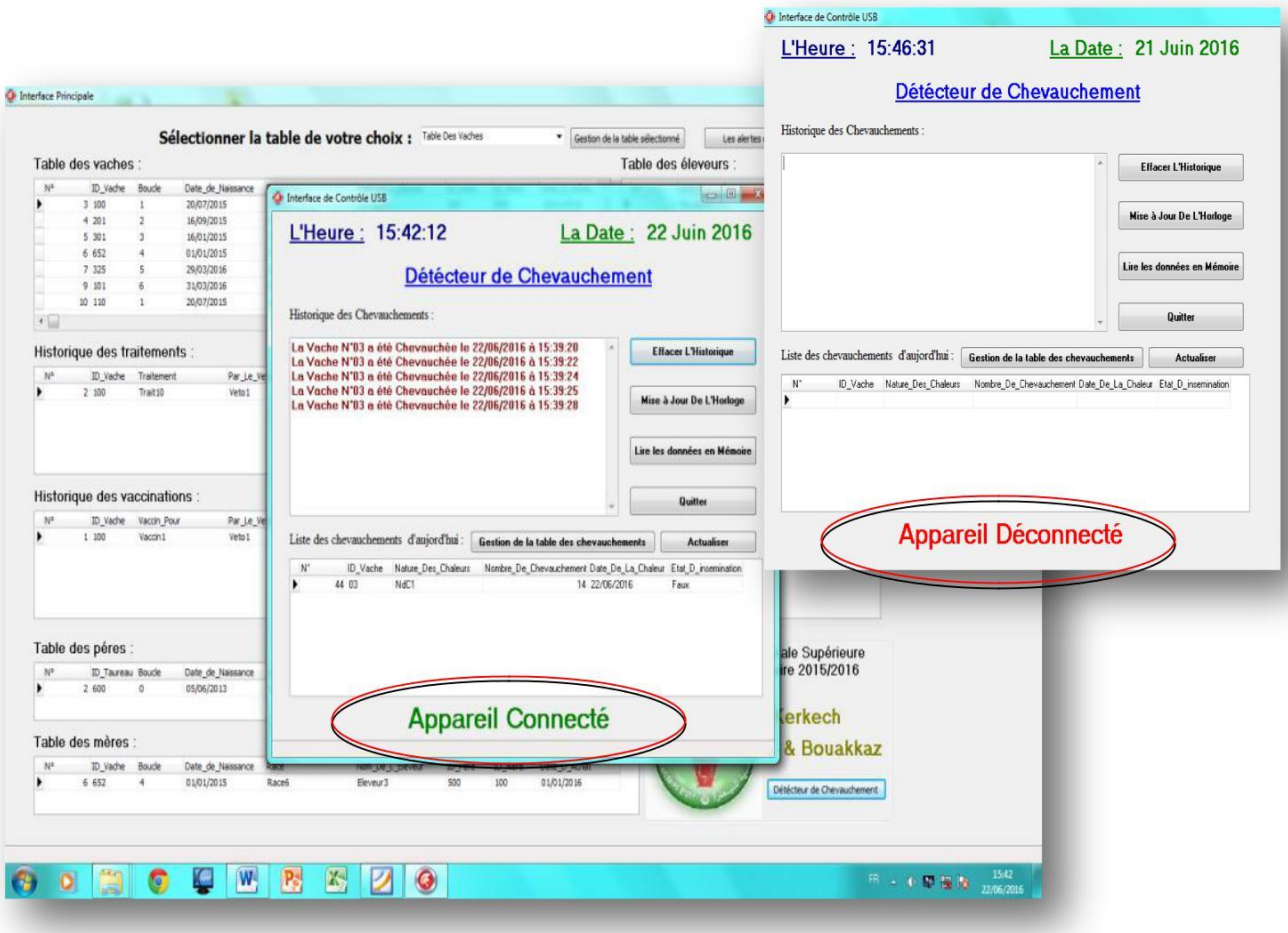


Figure 8 : Image représentant la fenêtre dédiée aux enregistrements des chevauchements détectés. (Dans les cas où l'appareil est connecté ou déconnecté).

4. Les forces et les limites de ce détecteur.

4.1. Les avantages

- Il fournit une aide certaine à l'éleveur, en vue de se libérer pour les différents travaux de sa ferme.
- Peu onéreux (environ 6000 DA) avec possibilité de réduire d'avantage les coûts de production en cas de production massive.
- Production local avec possibilité de garantie et d'un service après-vente.
- Facile à manipuler que ce soit sur le plan du hard ou le soft (logiciel agréable à manipuler doté d'une interface d'usage familière).
- Possibilité d'amélioration continue avec les différentes avancées technologiques actuelles.

4.2. Les limites

- Portée limitée aux ondes radiofréquence à 100 m en zone urbaine (interférence avec les différentes ondes radios parasites) mais elle peut atteindre 400 m dans les zones rurales (sans interférences). Cependant, il existe une possibilité d'amélioration qui peut atteindre une portée de 1000 m (1 Km).
- Comme tout appareil électronique, il peut se montrer très sensible à l'humidité (les pluies) et éventuellement à d'autres facteurs néfastes de son environnement.
- Scratch, risque de perte du détecteur lorsque les vaches sont en stabulation libre.

Conclusion & Recommandations

Au terme de cette étude, nous avons pu faire une collaboration réussite entre le métier vétérinaire et le métier électronique pour rendre nos élevages plus rentables et assurer une bonne reproduction ainsi qu'un rendement de production laitière satisfaisant.

Dans cet écrit, nous avons pu mettre en place un dispositif électronique de détection des chaleurs par chevauchement chez la vache avec un logiciel de gestion des troupeaux.

Le coût de revient de ce dispositif est largement acceptable, compte tenu des prix exorbitants de ses équivalents importés de l'étranger.

Ce dispositif, non-onéreux et d'une production locale, est prometteur de pouvoir faciliter la tâche à nos éleveurs et leur permettre de réduire la main d'œuvre dans l'exploitation et de faire des économies.

Enfin, quoi qu'il puisse être inventé, rien ne remplacera la vigilance de l'éleveur. En effet, la meilleure méthode de détection de l'œstrus chez la vache demeure toujours l'observation visuelle, soit vingt (20) minutes, deux (02) à (03) fois par jour, une méthode qui est fiable et qui donne de bons résultats.

En perspective, il serait intéressant :

- D'utiliser notre dispositif sur le terrain afin de tester sa précision et son exactitude à détecteur des chaleurs avec le dosage d'hormones (progestérone et œstrogènes) ;
- D'élargir la collaboration entre le métier vétérinaire et d'autres disciplines (électronique, informatique …).
- Ensuite, de suivre les démarches pour breveter ce dispositif.

Liste des références

A

1. **At-Taras, E. E. and Spahr, S. L, 2001.** Detection and characterization of eshus in daily cattle with an electronic heat mount detector and elechonic activity tag. Journal *of DairyScience.* 84 (4): 792-798.

B

2. **Beitins IZ and Padmanabhan V, 1991.** Bioactivity of gonadotropins Endocrinology and Metabolism Clinics of North America 20 85–120.
3. **Bliss Stuart.P, NavratilAmy.M, Xie. Jianjun, and Roberson Mark.S, 2010**. GnRH signaling, the gonadotrope and endocrine control of fertility. Final edited form as:Front Neuroendocrinol . 2010 July; 31(3): 322–340.2010.
4. **Blum WF and Gupta D, 1989.**Follicle stimulating hormone structure–function relationships. In Microheterogeneity of Glycoprotein Hormones. Pp 127–148 Ed. BA Keel and HE Grotjan, 1989.
5. **Boehmer B.H, 2012.** Ruminal temperature for identification and prediction of estrus in beef cows/ M. *Sc. Thesis, Okhlahoma State University*

C

6. **Cauty I et Perreau J-M, 2003.** La conduite du troupeau laitier. Editions France Agricole. Pp288. 2003.
7. **Chappel SC, Ulloa-Aguirre A and Coutifaris C, 1983.**Biosynthesis and secretion of follicle-stimulating hormone Endocrine Reviews 4 179–211.
8. **Clément. A, Gilles.T et Audrey.C de l'institut de l'Elevage, 2012.** Détection automatisée des chaleurs en élevage bovin laitier : quel outil choisir ? *décembre 2012, institut de l'élevage.*

D

9. **Domenech. A, Pich. S, Aris. A, Plasencia. C, Bach. A and Serrano. A, 2011**. Heat identification by 17 P-estradiol and progesterone quantification in individual raw milk sample by enzyme immunoassay. *Electronic Journal of Biotechnology. 14 (4).*

F

10. **Fischer-Tenhagen. C, Wetterholm. L, Tenhagen.B, and Heuwieser. W, 2011**. Training dogs on a scent platform for *estrus defection n cows/ Apphed animal Behaviour Science.* 131 (1-7)63-70

G

11. **Gatius-Lopez, F, Santolaria,P, Munder,I. and Yaniz, J. L,(2005).** Walking activiezat eshus and subsequent fertility in daily cows/ *Theriogenology.* 63: 1419-1429.
12. **Gatius-Lopez, F, Santolaria,P, Munder,I. and Yaniz, J. L,(2005).** Walking activiezat eshus and subsequent fertility in daily cows. *Theriogenology.* 63: 1419-1429.
13. **Gayrard. V, 2007**. Physiologie de la reproduction chez les mammifères. Les Anales de l'ENV Toulouse, France. Pp 198, 2007.
14. **Green ED, Boime I, Baenziger JU, 1986.**Differentialprocessing of Asn-linkedolivosaccharides on pituitaryglycoprotein hormones: implications fort biologicfunction .Mol Cell Biochem, 1986, 72, 81-100.
15. **Guy Lacerte, Daniel Bousquet, Yvon Loranger, 2008**. Les bovins laitiers/ *centre de références en agriculture et agroalimentaire du Québec, 2008.*
16. **Gwazdauskas.F.C, Nebel. R.L, Sprecher. D.J, Whhittier.W.D and Mc Gilliard. M.L, 1990.** Effectiveness of rump- mounted device and androgenized female for detection of estrus in dairy cattle/ *Journal of Dairy science.* 73, 29652970.

H

17. **HEERSCHE George JR, 1994**. Measuring efficicency and accuracy of detection of estrus. *1094, J DairySci 77: 2754-2761*

J

18. **Jaffe R.B, 1986**. Endocrinne physiology of the fœtus and feto-placental unit. *In* : *Reproductive endocrinology*, 1986, 737-757.
19. **Johnson Martin H etEveritt Barry J, 2002**. REPRODUCTION. Edition DeBoeck. Pp 298. 1ère edition; 2002.

L

20. **Lacerte Guy, Bousquet Daniel, Loranger Yvon, 2008**. Les bovins laitiers. Edition *Centre de Références en Agriculture et Agroalimentaire du Québec, 2008.*
21. **Lussier JG, Matton P, Dufour JJ, 1987:** Growth rates of follicles in the ovary of the cow. J Reprod Fert 81, 301–307.

M

22. **McNeilly AS, Brooks J, McNeilly JR and Brown P, 1995.** Synthesis and release of FSH Journal of Reproduction and Fertility. Abstract Series 15 S2. 1995.
23. Mihm M, Crowe MA, Knight PG and Austin EJ, 2002. Follicule wave growth in cattle. Reprod Dom Anim 37, 191-200 (2002).
24. **Miller WL, 1988**. Molecular biology of steroid hormone synthesis. Endocr Rev, 1988, **9**, 295-318.
25. **Monniaux Danielle, Caraty Alain, ClementFrederique, Dalbiès Rozenn -Tran, J.Dupont,2009**. Développement folliculaire ovarienne et ovulation chez les mammifères. InraProd.Anim. INRA, 2009, 22 (6), pp.59-76 2009.

N

26. **Nicholson-Weller.A, Klickstein L.B, 1999**.Clq-binding proteins and Clq receptors. Curr.Opin. *Immunol.*11 (1999) 42-46.

P

27. **Padmanabhan V, McFadden KL, Evans NP, Dahl GE, Mauger DT and Karsch FJ**, **1994.** Pulsatile FSH secretion in the ovariectomized ewe is controlledby both GnRH-dependent and GnRH-independent mechanisms Society of Neuroscience Abstracts 20 1058.
28. **Payre Bruno, 2008**. Identification de nouvellescibles du Tamoxifèneimpliquées dans son activité pharmacologique. Thèse doctorat, université de Toulouse, 2008.
29. **Purohit S, Shao K, Balasubramanian SV, 1997.** «Mutants of humainchoriogonadotropin lacking N-glycosyl chains in the alpha-subunit, 1. Mechanism for the differential action of the N-linked carbohydrates. Biochemistry, 1997, 36, 12355-12363.

R

30. **Rahe CH, Owens RE, Fleeger LH, Newton HJ and Harms PJ,** 1980. Pattern of plasma luteinizing hormone in the cyclic cow: dependence upon period of the estrous cycle Endocrinology 107 **498–503.**
31. **Rao TKS, Kumar N, Kumar P, Chaurasia S and Patel NB, 2013**. Heat detection techniques in cattle and buffalo. *Vetworld.363-369.2013*.
32. **Ritzen E.M, Nilsson O, Grigelioniene G, Holst M, Savendahl L &Wroblewski J, 2000.**Estrogens and humangrowth. *J SteroidBiochem Mol Biol 74, 383-6*.
33. **Robel P, Schummacher M, Baulieu E-E, 1999**. Neurosteroids : from definition and biochimistry to physiopathologic function. *In: Neurosteroids. A new regulatory function in the nervous system, 1999, 1-25*.
34. **Roche James F, 1996.** Control and regulation of folliculogenesis - a symposium in perspective. Reviews of Reproduction (1996) 1, 19–27.

S

35. **Scaramuzzi RJ, Adams NR, Baird DT, Campbell BK, Downing JA, Findlay JK, Henderson KM, Martin GB, McNatty KP, McNeilly AS, Tsonis CG, 1993.** A model for follicle selection and the determination of ovulation rate in the ewe. ReprodFertilDev 5, 459–478.
36. **SotnerDominique, 2001.** La reproduction des animaux d'élevage. Edition Sciences et technologie agricoles, 3ème edition 2001.Pp 224.
37. **Spicer LJ, Tucker WB, Adams GD**, **1990.** Insulin-like growth factor-I in dairy cows: relationships among energy balance, body condition, ovarian activity and estrous behavior - J Dairy Sci, 1990; 73: 929-937

T

38. **Thibault Charles et Levasseur Marie-Claire, 2001**. La reproduction chez les mammifères et l'homme. Edition Ellipses. Pp 87. Nouvelle Edition; 2001
39. **Tostain. J, Rossi. D, Martin. P.M, 2004**. Physiologie des androgènes chez l'homme adulte. *Laboratoire de transfert en oncologie biologique*, ProgUrol, 2004, 639.

V

40. **Vuillaume R, 1971**. Cours de biochimie animale : hormones. *Paris : Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.* Edition ENVA, 1971.

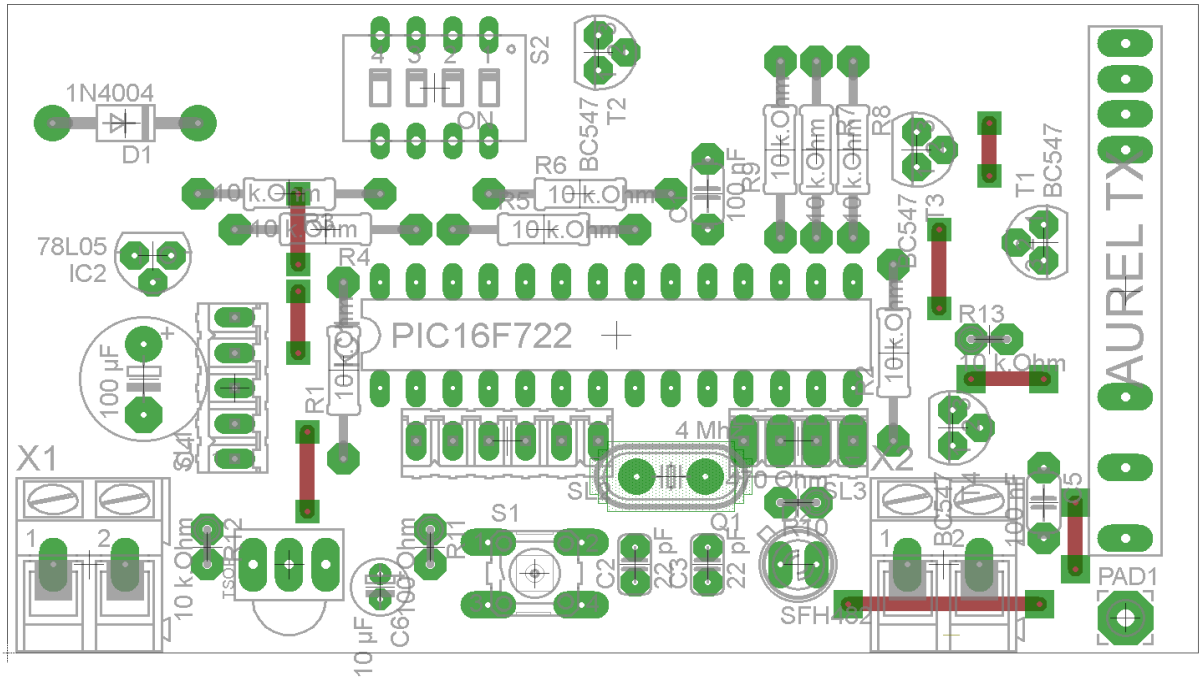
41. **Wattiaux Michel A, 1996.** Détection des chaleurs, saille naturelle et insémination artificielle. Edition Madison, (Publication: DE-RG-2-011996-F), 1996.

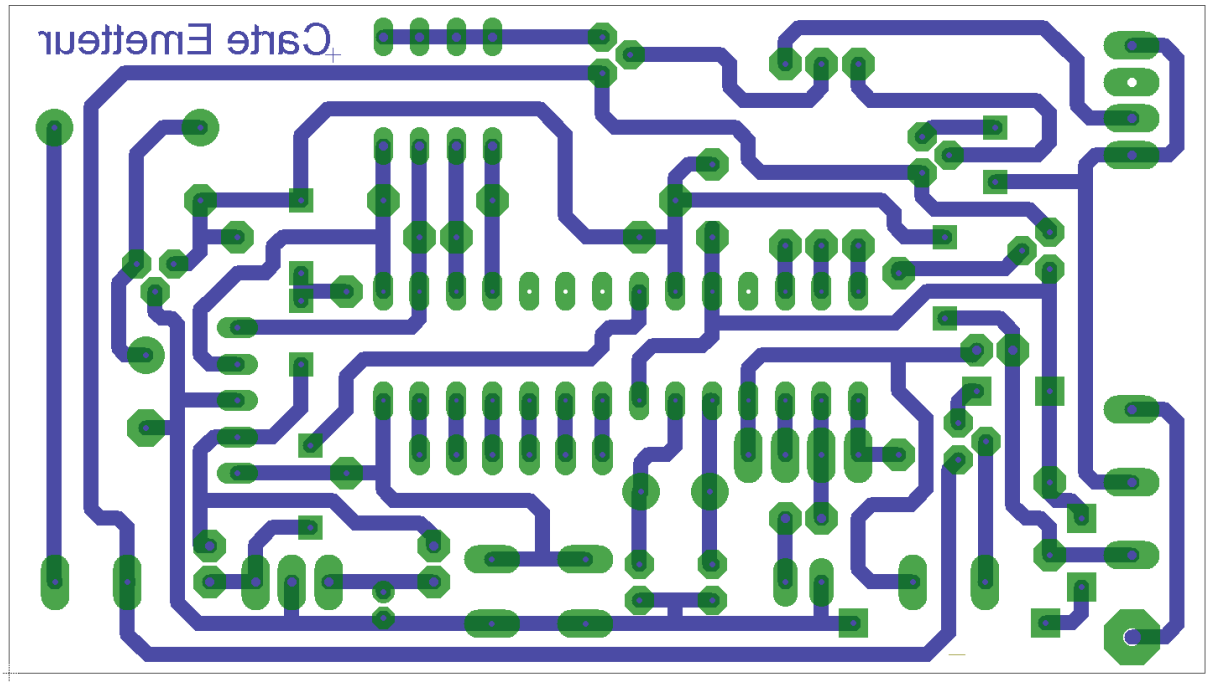
Web-graphie

42. **Site web 1** : http://www.delavalfrance.fr/-/Product-Information1 /Management/ Systems/Herd-navigator/, (Dernière consultation le 07.06.2016).
43. **Site web 2** : http://www.anemon-sa.ch/index.php ? page=pages / anemon&lg = fr, (Dernière consultation le 07.0.2016).

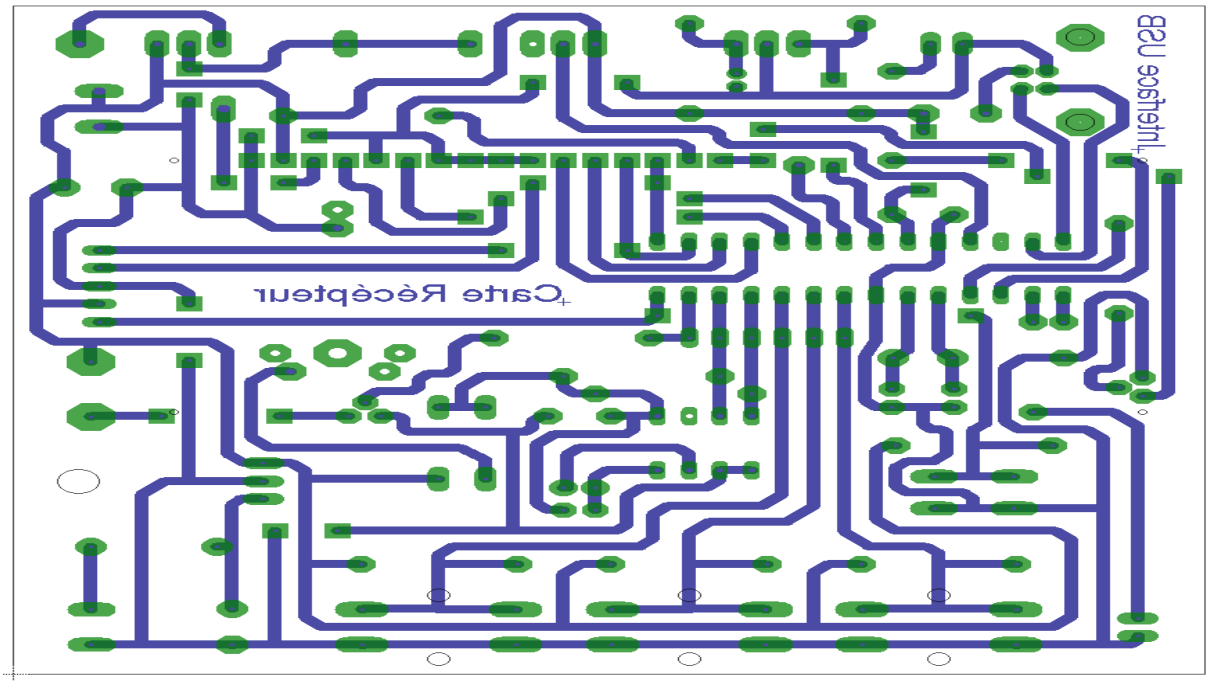
Annexe 1

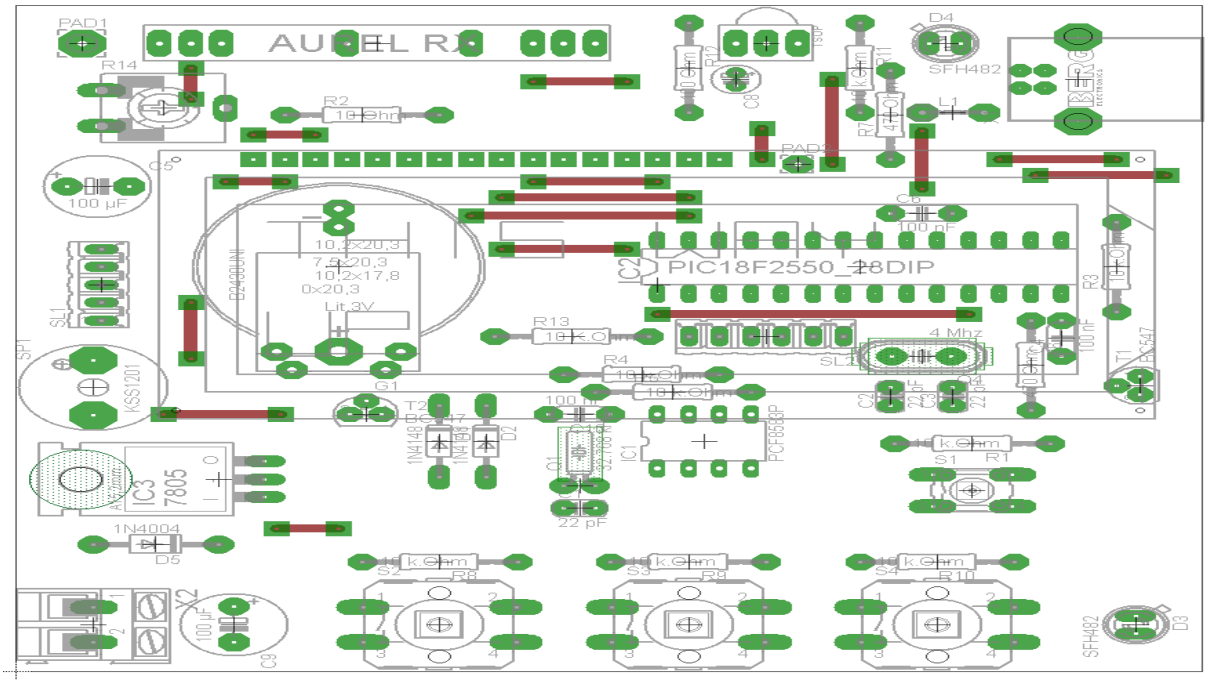
1. **Représentation de différents plans des circuits électroniques de l'émetteur.**





2. Représentation de différents plans des circuits électroniques du récepteur





Résumé

Une bonne détection des chaleurs est primordiale pour la bonne gestion des troupeaux bovins laitiers. L'acceptation du chevauchement est le seul comportement spécifique de l'oestrus chez la vache pouvant se produire n'importe quand dans la journée ou la nuit et ne dure que quelques secondes. Le détecteur électronique qui enregistre 24/24 pendant une très longue durée, pourra les enregistrer quelque soit le moment et alerter l'éleveur. L'objectif de notre travail était d'élaborer un détecteur des chaleurs par chevauchement accompagné d'un logiciel de gestion. Un cahier des charges a été rédigé en fonction des besoins de nos élevages, puis présenté à un jeune concepteur et programmeur (Etudiant en Master 2, USTHB). Au terme de notre travail, on a pu réaliser un dispositif fonctionnel rattachable sur la croupe de l'animal, capable de détecter la pression exercée lors d'un chevauchement. Ce dispositif n'est pas onéreux et le logiciel de gestion d'élevage est simple à manipuler.

Mots Clés : Détecteur des chaleurs, Œstrus, Vache laitière.

Abstract

Accuracy of heat detection is vital for the breeder management of the dairy cattle herds. The acceptance of mount is the only specific behavior of the estrus in cows that can occur anytime in the day or at night and lasts only a few seconds. The electronic sensor that registers 24/24H for a very long time can save data of the mount whatever time and alert the breeder. The objective of our work was to develop a sensor of heats by mount accompanied by management software. A Scope statement was written based on the needs of our breeding, then presented to a young designer and programmer (Student in Master 2, USTHB). At the end of our work, we could make a functional device which is put on the rump of the animal, capable of detecting the pressure when mount. This device is not expensive and herd management software is easy to handle.

Keys- words: Heat detection, Estrus, Dairy cattle.

الملخص :

إن الكشف الجيد لحالة الشبق أمر حيوي للإدارة السليمة لقطعان الأبقار الحلوب. الاختلاط هو السلوك الوحيد المحدد للشبق عند الابقار و الذي يمكن أن يحدث في أي وقت في النهار أو في الليل و يدوم سوى بعض ثوان، فإن جهاز الاستشعار الإلكتروني الذي يسجل 24/24 خلال فترة طويلة جدا، يمكنه أن يحفظ المعطيات في أي وقت و ينبه المربي .كان الهدف من عملنا تطوير جهاز الاستشعار حالة الشبق بعملية الاختلاط مصحوبا ببرنامج التسيير .و لذلك بعد أن تمت كتابة بيان المشروع حسب احتياجات مزارعنا، قدم لشاب مصمم و مبرمج طالب ماستر (بجامعة هواري بومدين، و في نهاية مشروعنا، استطعنا إنجاز جهاز وظيفي يمكن ربطه على ردف الحيوان و بإمكانه كشف الضغط الذي يتم عند الاختلاط. و أخيرا فإن سعر هذا الجهاز معقول جدا و برنامج تسيير قطعان الابقار سهل الاستعمال.

كلمات البحث: الاستشعار حالة الشبق - الأبقار الحلوب.