



Open Archive TOULOUSE Archive Ouverte (OATAO)

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

This is an author-deposited version published in : [http://oatao.univ-toulouse.fr/
Eprints ID : 15569](http://oatao.univ-toulouse.fr/Eprints ID : 15569)

To cite this version :

Alègre, Benjamin. *Développement d'un nouvel outil d'aide à la surveillance des vélages, New Deal*. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse - ENVT, 2016, 80 p.

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

ANNEE 2016 THESE: 2015 -TOU 3 - 4017

DÉVELOPPEMENT D'UN NOUVEL OUTIL D'AIDE A LA SURVEILLANCE DES VÊLAGES, NEW DEAL ®

THESE
pour obtenir le grade de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLÔME D'ETAT

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

ALEGRE Benjamin

Né, le 17 Août 1989 à Tarbes (65)

Directeur de thèse : Mme Nicole HAGEN-PICARD

JURY

PRESIDENT :

Mr Olivier PARANT

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de Toulouse

ASSESEURS :

Mme Nicole HAGEN-PICARD

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

M. Xavier NOUVEL

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



**Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt
ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directrice : Madame Isabelle CHMITELIN

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

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

PROFESSEURS 1^{re} CLASSE

- M. BERTAGNOLI Stéphane, *Pathologie infectieuse*
- M. BERTHELOT Xavier, *Pathologie de la Reproduction*
- M. BOUSQUET-MELOU Alain, *Physiologie et Thérapeutique*
- Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, *Pathologie de la Reproduction*
- M. DUCOS Alain, *Zootéchnie*
- M. FOUCRAS Gilles, *Pathologie des ruminants*
- Mme GAYRARD-TROY Veronique, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme HAGEN-PICARD, Nicole, *Pathologie de la reproduction*
- M. LEFEBVRE Hervé, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. MEYER Gilles, *Pathologie des ruminants*
- M. SANS Pierre, *Productions animales*
- Mme TRUMEL Catherine, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 2^e CLASSE

- M. BAILLY Jean-Denis, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme BENARD Geneviève, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
- Mme BOURGES-ABELLA Nathalie, *Histologie, Anatomie pathologique*
- M. BRUGERE Hubert, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- M. GUERRE Philippe, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. GUERIN Jean-Luc, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. JACQUIET Philippe, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- M. LIGNEREUX Yves, *Anatomie*
- M. PICAVET Dominique, *Pathologie infectieuse*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

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

Mise à jour au 01/03/2015

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

M. BERGONIER Dominique, *Pathologie de la Reproduction*
Mme BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle, *Biologie cellulaire et moléculaire*
Mme BOULLIER Séverine, *Immunologie générale et médicale*
Mme CADIERGUES Marie-Christine, *Dermatologie*
Mme DIQUELOU Armelle, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. DOSSIN Olivier, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
M. JOUGLAR Jean-Yves, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
Mme LETRON-RAYMOND Isabelle, *Anatomie pathologique*
M. LYAZRHI Faouzi, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. MATHON Didier, *Pathologie chirurgicale*
Mme PRIYMENKO Nathalie, *Alimentation*

MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)

M. ASIMUS Erik, *Pathologie chirurgicale*
Mme BENNIS-BRET Lydia, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
Mme BIBBAL Delphine, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme BOUHSIRA Emilie, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. CONCHOU Fabrice, *Imagerie médicale*
M. CORBIERE Fabien, *Pathologie des ruminants*
M. CUEVAS RAMOS Gabriel, *Chirurgie Equine*
Mme DANIELS Hélène, *Microbiologie-Pathologie Infectieuse*
Mme DEVIERS Alexandra, *Anatomie-Imagerie*
M. DOUET Jean-Yves, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme FERRAN Aude, *Physiologie*
M. JAEG Jean-Philippe, *Pharmacologie et Toxicologie*
Mme LACROUX Caroline, *Anatomie Pathologique des animaux de rente*
Mme LAVOUE Rachel, *Médecine Interne*
M. LE LOC'H Guillaume, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. LIENARD Emmanuel, *Parasitologie et maladies parasitaires*
M. MAILLARD Renaud, *Pathologie des Ruminants*
Mme MEYNADIER Annabelle, *Alimentation*
Mme MEYNAUD-COLLARD Patricia, *Pathologie Chirurgicale*
M. MOGICATO Giovanni, *Anatomie, Imagerie médicale*
M. NOUVEL Laurent, *Pathologie de la reproduction (en disponibilité)*
Mme PALIERNE Sophie, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme PAUL Mathilde, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles et porcs*
Mme PRADIER Sophie, *Médecine interne des équidés*
M. RABOISSON Didier, *Productions animales (ruminants)*
M. VOLMER Romain, *Microbiologie et Infectiologie*
M. VERWAERDE Patrick, *Anesthésie, Réanimation*
Mme WARET-SZKUTA Agnès, *Production et pathologie porcine*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

Mme COSTES Laura, *Hygiène et Industrie des aliments*
Mme LALLEMAND Elodie, *Chirurgie des Equidés*
M. TANIS Jean-Benoît, *Anatomie – Imagerie Médicale*

Mise à jour au 01/03/2015

REMERCIEMENTS

A MON PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur Olivier PARANT

Professeur des Universités

Praticien Hospitalier

Gynécologie - Obstétrique

*Qui m'a fait l'honneur de présider le jury de ma thèse.
Remerciements et hommages respectueux.*

A MON JURY DE THESE

Madame le Professeur Nicole HAGEN-PICARD

Professeur de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Pathologie de la reproduction

*Qui m'a guidé dans l'élaboration de ce travail et permis de le mener à bien.
Qu'elle veuille bien trouver ici l'expression de ma vive gratitude et de mon
profond respect.*

Monsieur le Docteur Xavier NOUVEL

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Pathologie de la reproduction

*Qui m'a fait l'honneur de participer à mon jury de thèse.
Qu'il veuille bien accepter ici le témoignage de mon profond respect.*

A Monsieur Yvon Chaume

Fondateur et gérant de la société Happy Foaling

*Qui est à l'origine de ce projet et m'a fait confiance pour le mener à bien.
Qu'il veuille bien accepter mes sincères remerciements.*

TABLE DES MATIERES

TABLE DES ANNEXES.....	11
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	12
TABLE DES ABREVIATIONS.....	15
INTRODUCTION.....	18
<u>PREMIÈRE PARTIE</u>	
Données générales sur le déroulement des vêlages eutocique et dystocique.....	20
I. GENERALITES.....	21
1. Signes précurseurs du vêlage.....	21
1.1. Comportement maternel.....	21
1.2. Développement de la mamelle.....	21
1.3. Variations de la température rectale.....	22
1.4. Expulsion du bouchon muqueux et tuméfaction de la vulve.....	23
1.5. Relâchement des ligaments sacro-ischiatiques et sacro-iliaques.....	23
2. Phases préparatoires du vêlage.....	23
2.1. Contractions utérines et dilatation du col.....	23
2.1.1 Contractions utérines.....	23
2.1.2 Dilatation du col.....	24
2.2. Expulsion du fœtus.....	24
2.3. Délivrance.....	25
3. Présentation et position fœtales.....	25
3.1. Présentation.....	25
3.1.1 Présentation eutocique antérieure.....	25
3.1.2 Présentation eutocique postérieure.....	25
3.2. Position.....	25
3.3. Posture.....	26
II. DYSTOCIES.....	27
1. Causes.....	27
2. Facteurs de risque des dystocies.....	28
2.1. Disproportion fœto-maternelle.....	28
2.2. Inertie utérine.....	29
2.3. Autres facteurs de risque.....	29
3. Fréquence.....	29
4. Impact économique des vêlages.....	30
5. Prévention des dystocies.....	31

DEUXIÈME PARTIE Outils d'aide à la surveillance des vêlages.....	32
I. INTRODUCTION.....	33
II. OUTILS D'AIDE À LA SURVEILLANCE DES VÊLAGES.....	33
1. Mesure de la température vaginale.....	33
1.1. Fonctionnement.....	34
1.2. Communication avec l'éleveur.....	34
1.3. Sensibilité et spécificité.....	35
1.4. Coût.....	36
2. Mesure des mouvements de la queue.....	36
2.1. Fonctionnement et communication.....	37
2.2. Sensibilité et spécificité.....	38
2.3. Coût.....	38
3. Mesure des contractions abdominales.....	38
3.1. Fonctionnement et communication.....	39
3.2. Sensibilité et spécificité.....	39
3.3. Coût.....	39
4. Etude du comportement de la vache.....	39
4.1. Fonctionnement et communication.....	40
4.2. Sensibilité et spécificité.....	40
4.3. Coût.....	40
5. Mesure du temps de rumination.....	40
5.1. Fonctionnement et communication.....	41
5.2. Sensibilité et spécificité.....	41
5.3. Coût.....	41
6. Vidéo-surveillance.....	41
6.1. Principe et fonctionnement.....	41
6.2. Coût.....	42
III. BILAN.....	42

TROISIEME PARTIE : PARTIE EXPERIMENTALE :

Evaluation d'un système de surveillance de vêlage, NEW DEAL®.....46

I. MATERIEL.....48

1. La sonde et l'aimant.....48
 - 1.1. La sonde.....48
 - 1.2. L'aimant.....49
2. Le trocart.....49
3. La station d'écoute et de transmission.....49
4. L'activateur ou télécommande d'activation.....50
5. Le serveur.....50
6. Transmission du signal.....51

II. PROCEDURE D'IMPLANTATION CHIRURGICAL DE LA SONDE ET DE SA MISE EN SERVICE.....52

1. Préparation du matériel.....52
2. Anesthésie épidurale.....52
3. Préparation de la zone périgénitale.....53
4. Implantation de la sonde.....53
5. Suture de la vulve.....54
6. Réglage de la sonde.....54

III. SUIVI DES PARAMÈTRES.....55

1. Suivi de la température vulvaire.....56
2. Suivi de l'ouverture / fermeture vulvaire via le champ magnétique.....58

IV. PROTOCOLE EXPERIMENTAL.....60

1. Animaux et lieux d'implantation.....61
2. Procédures expérimentales.....62

V. RESULTATS.....63

1. Réponses positives aux tests.....65
2. Fonctionnement du système New Deal®.....65
3. Infection et/ou rejet de la capsule.....65
4. Durée de vie de la batterie.....65
5. Temps de pose.....66
6. Conclusion des expériences.....66

VI. HYPOTHESES.....67

VII. AMELIORATIONS AU COURS DES EXPERIENCES.....68

1. Système de capteurs.....68
2. Asepsie du matériel.....68
3. Instruments d'aide à l'implantation.....69
4. Matériau biocompatible.....69

VIII. DISCUSSION.....69
CONCLUSION.....70
BIBLIOGRAPHIE.....71

TABLE DES ANNEXES

Annexe 1 : Flyers présentés par la société New Deal® pour le lancement de leur nouvelle sonde d'aide à la surveillance des vêlages, New Deal®

Annexe 2 : Page d'accueil de la plate-forme, emplacement où l'éleveur peut suivre l'évolution des paramètres mesurés sur les vaches équipées d'une sonde

Annexe 3 : Suivi des paramètres des vaches dont la sonde est activée, sur la plate-forme

Annexe 4 : Communiqué de presse de la société « Happy Foaling » concernant la création de leur nouvelle sonde d'aide à la surveillance des vêlages New Deal®

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : Temps estimée avant la parturition en fonction de l'ouverture du col utérin

Tableau 2 : Taux des causes de dystocies les plus fréquentes en bovine

Tableau 3 : Taux de césarienne chez les races allaitantes, en fonction du rang de vêlage

Tableau 4 : Récapitulatif des outils d'aide à la surveillance des vêlages, en comparant leurs avantages et leurs inconvénients

Tableau 5 : Extrait de données de températures vulvaires mesurées par la sonde n°2 de l'expérience II le 17/11/14 et corrigées par le logiciel de la société Happy Foaling avant de les ajouter sur la plateforme

Tableau 6 : Extrait de données de champ magnétique enregistrées par la sonde n°2 de l'expérience II du 5/11/14 et corrigées par le logiciel de la société « Happy Foaling »

Tableau 7 : Dates de début (correspondant au jour d'implantation intra-vulvaire de la sonde) et de fin (jour du retrait des sondes) de chaque expérience

Tableau 8 : Principes et objectifs de chaque expérience

Tableau 9 : Conditions d'implantation lors de chaque expérience

Tableau 10 : Résumé des résultats de chaque expérience

Tableau 11 : Récapitulatif de l'état de fonctionnement du matériel, de la réceptivité des capteurs de la sonde, ainsi que de l'état des tissus de la vache pour chaque

Tableau 12 : Evolution de la charge des piles de la sonde au cours de l'expérience II, ayant duré 26 jours

Tableau 13 : Evolution du temps de pose du vétérinaire réalisant les implantations au site A

Tableau 14 : Explications hypothétiques face aux problématiques rencontrées lors de chaque expérience

Tableau 15 : Avantages et des inconvénients de la sonde New Deal ® actuellement

FIGURES

Figure 1 : Diverses présentations et positions du veau

Figure 2 : Illustration deux exemples de présentations de posture ; fœtus avec membres entièrement retenus sous le corps à gauche ; fœtus « encapuchonné » à droite

Figure 3 : Schéma illustrant les différentes causes pouvant être à l'origine de dystocies

Figure 4 : Représentation des outils de mesure de la température vaginale ; photo à gauche : Sonde Vel'Phone® ; photo à droite : Sonde Vel'Box®

Figure 5 : Illustrations des transferts de données depuis la mesure des paramètres par les sondes jusqu'à leur réception par l'éleveur

Figure 6 : Photo du capteur ALERT'VEL® placé à la base de la queue des vaches gestantes proches du terme

Figure 7 : Principe de la communication depuis l'enregistrement des mouvements de la queue par le capteur jusqu'à l'appel de l'éleveur quelques instants avant le début du vêlage

Figure 8 : Emplacement idéal de la ceinture Agromonitor® sur une vache

Figure 9 : Emplacement du capteur Afitag Podometres® sur une vache

Figure 10 : Collier HR Tag® placé à l'encolure des vaches

Figure 11 : Représentation de la capsule contenant la sonde et la pile, ainsi que de l'aimant sur la photo de gauche ; Représentation de leur emplacement lors de l'implantation en intra-vulvaire sur la photo de droite

Figure 12 : Trocart servant à la tunnelisation des tissus sous-cutanés, facilitant le passage de la capsule

Figure 13 : Station GSM installée dans l'élevage, recevant les informations enregistrées par la sonde et les transmettant à la société « Happy Foaling »

Figure 14 : Télécommande servant à l'activation et à l'arrêt de la sonde

Figure 15 : Schéma des étapes acheminant les données enregistrées par les sondes jusqu'aux logiciels accessibles à l'éleveur, ainsi qu'à l'alerte du vêlage sur son téléphone

Figure 16 : Nettoyage et désinfection de la zone chirurgicale d'implantation

Figure 17 : Zone d'incision en partie ventrale de la lèvre vulvaire

Figure 18 : *Insertion de la capsule (contenant sonde-pile ou aimant) en intra-vulvaire après tunnelisation des tissus sous-cutanés*

Figure 19 : *Ecartement manuel des lèvres vulvaires afin de définir un seuil d'ouverture*

Figure 20 : *Activation de la sonde à l'aide de la télécommande*

Figure 21 : *Informations affichées en temps réel sur la page d'accueil visualisables sur l'ordinateur ou le smartphone de l'éleveur*

Figure 22 : *Evolution temporelle de la température vulvaire mesurée (en mauve) et filtrée (en rouge) au cours du temps, telle qu'elle est représentée sur la plateforme (extrait de la sonde n°2 de l'expérience II)*

Figure 23 : *Evolution temporelle du champ magnétique mesuré (en bleu) et filtré (ou corrigé, en rouge) au cours du temps. Cette figure n'est pas visualisable sur la plateforme.*

GRAPHIQUE

Graphique 1 : *Evolution de la température rectale chez la vache gestante au cours des derniers jours précédant le vêlage*

TABLE DES ABREVIATIONS

GSM: Global System for Mobile Communications

SMS: Short Message Service

PMMA : Polyméthacrylate de méthyle

PAEK: Polyaryléthercétone

INTRODUCTION

En élevage bovin, le déroulement de la mise-bas conditionne la survie et la santé du veau et de sa mère, et par conséquent les revenus de l'éleveur. La surveillance du vêlage constitue une activité qui demande beaucoup de temps, de jour comme de nuit, mais qui est cruciale pour assurer la rentabilité de l'élevage.

Dans un contexte sociétal où la main d'œuvre dans les élevages est plus limitée et où le temps libre et les loisirs sont devenus importants, le développement d'outils de détection des vêlages est nécessaire pour aider l'éleveur à cibler le moment du vêlage.

L'objectif de cette thèse est d'étudier un nouveau système de surveillance et d'alerte des vêlages New Deal®, développé par la société Happy Foaling. Ce dispositif mis en place au niveau des lèvres vulvaires de la vache est fondé sur la mesure de deux paramètres: l'écartement et la température vulvaire.

Dans une première partie bibliographique, nous décrivons tout d'abord les mécanismes physiologiques déterminant le déroulement normal d'un vêlage et les facteurs dystociques les plus fréquents. Puis, nous décrivons les outils de surveillance des vêlages actuellement utilisés. Dans une deuxième partie expérimentale, nous évaluerons à travers un essai clinique l'intérêt et les limites de New Deal®.

PREMIÈRE PARTIE

Le déroulement des vèlages eutociques et dystociques

I. GÉNÉRALITÉS

La parturition ou mise-bas est l'ensemble des phénomènes mécaniques et physiologiques qui entraînent l'expulsion d'un ou plusieurs nouveau-nés, ainsi que des annexes placentaires, hors des voies génitales femelles au terme de la gestation. La durée de la gestation chez la vache varie de 283 à 290 jours (1).

1. Signes précurseurs du vêlage

1.1. Comportement maternel

Dans les derniers moments de la gestation, la vache manifeste des signes comportementaux caractéristiques : agitation, inquiétude, piétinements, recherche d'isolement ainsi que d'un endroit où vêler. Les épisodes de couchers-relever, de queue soulevée, ainsi que les torsions et les contractions abdominales deviennent de plus en plus fréquents (9).

A l'approche d'un vêlage, l'éleveur place généralement la vache dans un box à vêlage de façon à recréer les conditions d'isolement de la vache. Le box est situé à proximité du troupeau pour que l'animal soit en contact visuel avec ses congénères, évitant ainsi un stress d'isolement. La surface du box doit être d'environ 12 à 15 m², ce qui permet de disposer de suffisamment d'espace pour se servir de la vèleuse. Le box, bien paillé, sera nettoyé et désinfecté entre chaque vêlage, procurant ainsi de bonnes conditions d'hygiène (2).

A partir de la 6^{ième} heure précédant le vêlage, le temps passé en position debout diminue. Deux heures avant le vêlage, une augmentation du temps passé à piétiner, du nombre de coucher-relever, des signes d'inconfort, de contractions musculaires et abdominales et du temps passé avec la queue levée sont également observés (15).

1.2. Développement de la mamelle

La mamelle commence à se développer plusieurs mois avant le vêlage chez les primipares et la dernière semaine avant le part chez les multipares. Le tissu mammaire apparaît alors congestionné, tendu et parfois œdémateux. A l'approche du terme une montée de sécrétion colostrale, de couleur blanche à jaune, turbide à opaque, est observée.

1.3. Variations de la température rectale

Le suivi de la température rectale permet de préciser la date de vêlage puisque dans les derniers jours avant le part l'évolution de la température rectale est relativement caractéristique.

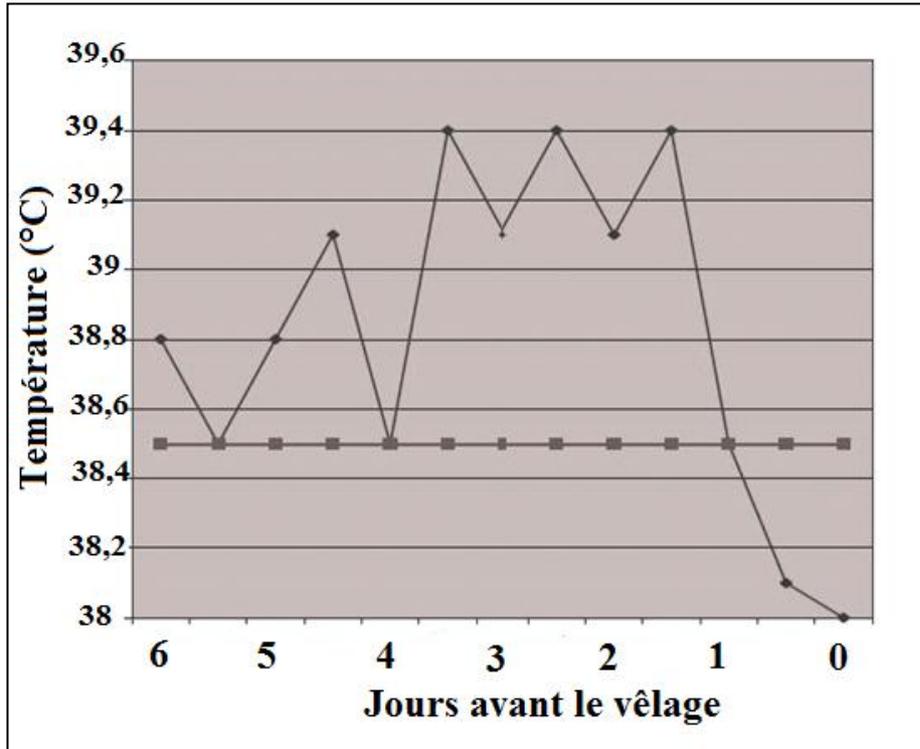


Figure 1 : Evolution de la température rectale chez une vache gravide au cours des derniers jours précédant le vêlage (source Institut de l'élevage)

La température corporelle (ou rectale) d'une vache se situe aux alentours de 38,5°C. Lorsque le vêlage est imminent, la température corporelle augmente au-delà de 39°C dans les trois à six derniers jours précédant le vêlage. Puis, cette température décroît brutalement dans les dernières 24 heures, descendant en-deçà de 38-38,5°C.

Ainsi, si la température est supérieure à 39,4°C, le part est peu probable dans les prochaines 12 heures. Une température inférieure à 38,2°C après une élévation pendant les jours précédant permet de prédire avec une forte probabilité un vêlage imminent dans les prochaines 12 heures (10).

De la même façon, la température vaginale tend à augmenter quelques jours avant la mise-bas, puis à diminuer au cours du dernier jour de gestation par rapport aux jours précédents (11, 12). Le jour du vêlage, la température vaginale moyenne diminue d'une amplitude de 0,49°C (13).

1.4. Expulsion du bouchon muqueux et tuméfaction de la vulve

Durant les 8 jours précédant la mise-bas, l'éleveur peut observer un écoulement de mucus visqueux à gluant, blanc-jaunâtre pouvant rester coller à la face interne de la queue, ou être observé au niveau de la commissure ventrale de la vulve. Il s'agit du bouchon muqueux qui se liquéfie. Ce bouchon, formé par la concrétion de la glaire cervicale, obture le col utérin durant toute la durée de la gestation (5).

1.5. Relâchement des ligaments sacro-ischiatiques et sacro-iliaques

Sous imprégnation hormonale les ligaments sacro-ischiatiques se ramollissent. Les hormones responsables sont les œstrogènes et la relaxine (4). Un relâchement égal ou supérieur à 5 millimètres est annonciateur d'un vêlage dans les 24 heures (6). Le sacrum tend à s'abaisser, alors que la queue apparaît relevée, on dit que la vache « se casse » (7). Une telle distension du bassin permet d'augmenter le diamètre du canal pelvien pour faciliter le passage du veau.

2. Phases préparatoires du vêlage

Physiologiquement, le déroulement du vêlage est un phénomène ininterrompu, même si la parturition est classiquement divisée en trois phases.

2.1. Contractions utérines et dilatation du col

2.1.1. Contractions utérines

Les contractions du myomètre débutent 12 heures avant la mise-bas, permettant au fœtus de progresser dans la filière pelvienne. Au début, les contractions ne sont pas rapprochées (toutes les 6 à 7 minutes) et ne durent pas longtemps (quelques secondes). Au fur et à mesure de l'avancée du vêlage, elles deviennent de plus en plus fréquentes et leur durée plus longue. A l'imminence du vêlage, les contractions sont espacées toutes les minutes et durent également une minute. Le franchissement du col par le fœtus et son engagement dans la filière pelvienne stimulent la sécrétion d'ocytocine par la neurohypophyse (réflexe de Ferguson) et entraînent de très fréquentes et intenses contractions utérines et abdominales.

2.1.2. Dilatation du col

L'ouverture du col se produit quand les contractions utérines ont débuté, ou lorsque la température est comprise entre 38,2 et 39°C. L'évaluation de l'ouverture du col utérin permet de prédire la survenue du vêlage. Lorsque l'ouverture est comprise entre 2 et 8 centimètres (environ 3 doigts), le vêlage a une faible probabilité de survenir avant un délai de 8 heures. Quand l'ouverture est la taille de la main (8 à 12 centimètres), le vêlage a davantage de chance d'avoir lieu dans les 2 à 8 heures. Si elle est de 12 à 16 centimètres (passage de l'avant-bras), le vêlage peut survenir dans les heures qui suivent (17).

SURVENUE DU VÊLAGE (heures)	OUVERTURE DU COL ÚTERIN	
	Centimètres	Comparaison
>8	2-8	3 doigts
2 à 8	8 - 12	main
<2	12 - 16	passage de l'avant-bras

Tableau 1 : Temps estimé avant la parturition en fonction de l'ouverture du col utérin

2.2. Expulsion du fœtus

Ainsi, sous l'effet de ces contractions répétées, le veau avance progressivement dans le canal cervical, franchit le col de l'utérus et arrive au niveau de la vulve (3). La pression exercée par les contractions abdominales entraîne la rupture de la poche allantoïde, c'est l'expulsion de la première « poche des eaux » qui contribue à la lubrification des voies vaginales postérieures et facilite la progression du fœtus (16). La deuxième « poche des eaux » correspond à l'amnios, elle se rompt généralement au moment de l'introduction du veau dans le vagin (8).

La tête du fœtus arrive au niveau de la vulve qui se dilate progressivement, puis la franchit. Le reste du corps, après franchissement de la filière pelvienne, va être expulsé par les dernières contractions. Une fois le veau expulsé, sa mère le lèche afin de dégager ses voies respiratoires et stimuler la respiration (18). La durée de la mise-bas dure de 30 minutes à plus de 3 heures chez certaines vaches (primipares ou âgée).

2.3. Délivrance

La délivrance est la dernière étape du vêlage et consiste au détachement et à l'expulsion progressive des enveloppes fœtales dans les 12 à 24 heures avant l'expulsion du veau. Au-delà de ce délai, la délivrance placentaire est peu probable et on considère qu'il s'agit d'une rétention placentaire (1).

3. Présentation et position fœtales

3.1. Présentation

Le veau peut être en position antérieure (la tête et les membres antérieurs sortent les premiers) ou postérieure (les membres postérieurs passent les premiers la filière pelvienne) ou bien transverse.

3.1.1. Présentation eutocique antérieure

Le fœtus est placé normalement en position dorso-sacrée : le garrot du fœtus correspond au sacrum maternel. Il s'agit de la position la plus courante, permettant la meilleure adaptation fœto-maternelle, et qui est retrouvée dans 95% des mise-bas (18).

3.1.2. Présentation eutocique postérieure

Le fœtus est placé en position lombo-sacrée : la croupe du fœtus correspond au sacrum maternel. Cette position ne représente que 5% des mise-bas. Cette position ne permet pas le phénomène d'accommodation. Elle peut entraîner également une compression du cordon ombilical ou sa rupture lors de l'engagement, à l'origine d'une anoxie du veau avant son expulsion (18).

3.2. Position

La position du fœtus décrit la partie du fœtus qui est en contact avec le détroit antérieur du bassin lorsqu'il le franchit. Pour une présentation antérieure, la position est dorso-sacrée ou dorso-ilio-sacrée. Pour une présentation postérieure, la position est lombo-sacrée ou lombo-ilio-sacrée. Les autres positions sont anormales.

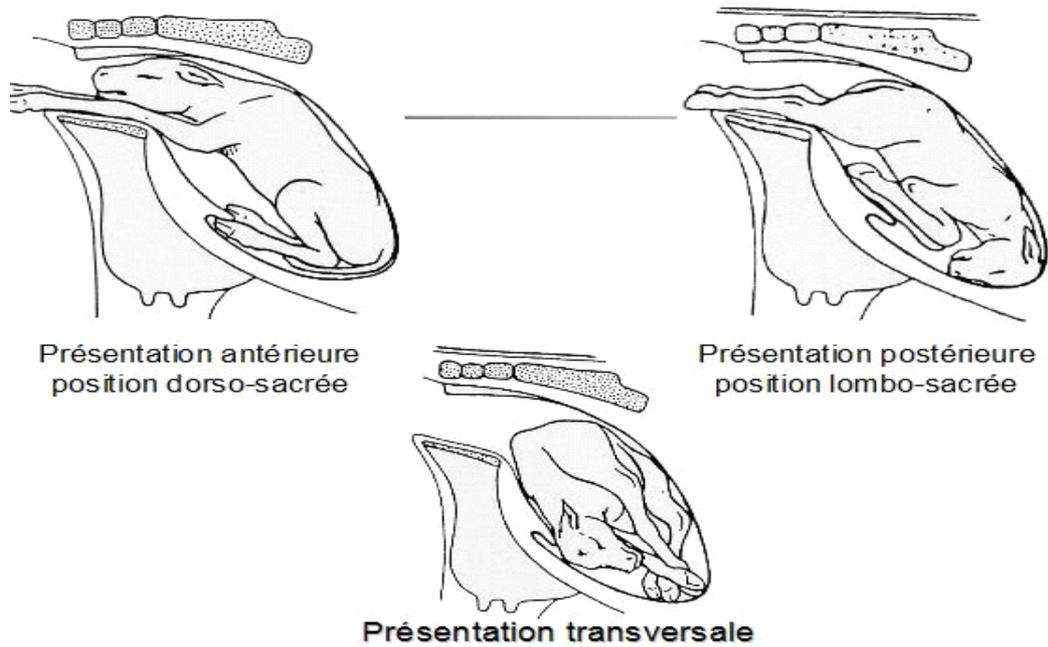


Figure 1 : Diverses présentations et positions du veau (19)

3.3. Posture

La posture définit la position du membre ou de la tête par rapport à sa position normale : état d'extension ou de flexion de la tête, de l'encolure et des membres.

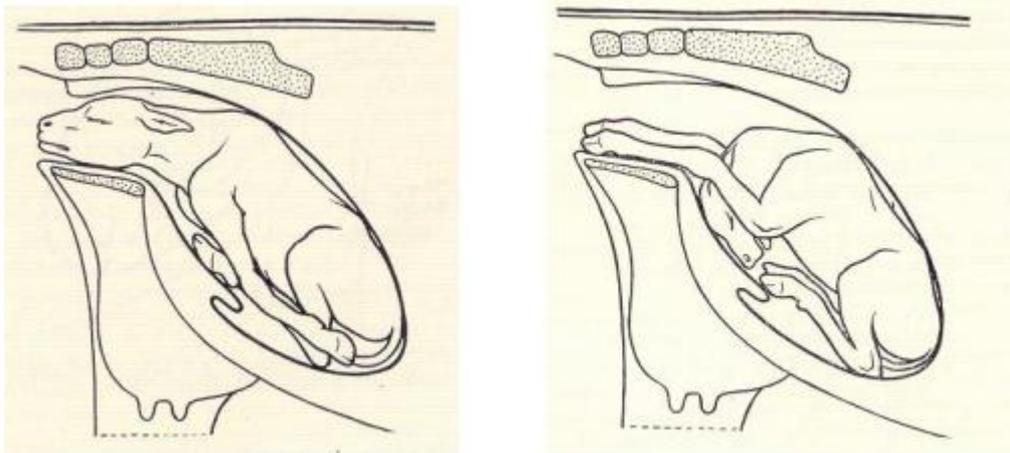


Figure 2 : Illustration de deux exemples de posture, fœtus avec les membres entièrement retenus sous le corps sur la figure de gauche, et fœtus « encapuchonné » sur celle de droite

II. LES DYSTOCIES

Une mise-bas normale se déroule sans que la vache n'ait besoin d'une intervention humaine. La dystocie désigne la difficulté qui peut survenir lors d'un vêlage. Une intervention extérieure est nécessaire afin d'assurer une mise-bas dans les meilleures conditions.

1. Causes

La dystocie peut être d'origine maternelle (30%) ou bien être liée au fœtus (60%). 10% des dystocies ne peuvent être imputables ni à la mère ni au veau (20).

La figure suivante résume les diverses causes à l'origine d'un vêlage dystocique.

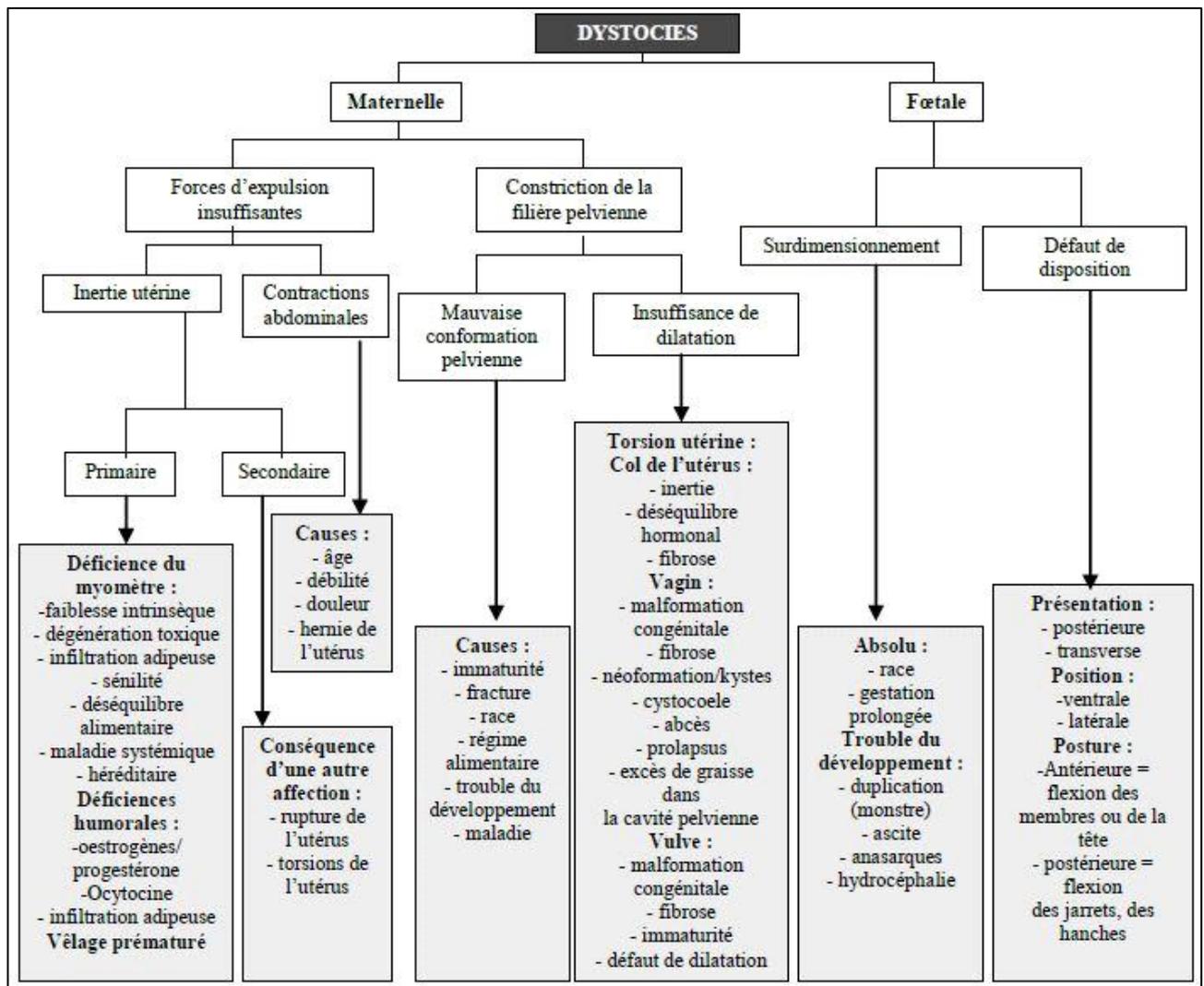


Figure 3 : Schéma illustrant les différentes causes à l'origine de dystocies (16)

2. Facteurs de risque

2.1. Disproportion fœto-maternelle

La disproportion fœto-pelvienne peut être liée à un excès de poids du fœtus ou à un développement insuffisant du bassin de la mère. Un veau mâle, plus lourd qu'une femelle, présente généralement plus de risque de dystocie. L'hypertrophie musculaire (veaux culards), critère de sélection de certaines races (Blanc Bleu Belge par exemple) entraîne un vêlage dystocique qui nécessite presque systématiquement une césarienne.

Un développement insuffisant du bassin, chez des femelles primipares par exemple, ou bien une vache trop grasse sont des critères favorisant de dystocie.

2.2. Inertie utérine

Les dystocies peuvent provenir également de l'inertie utérine, qui peut avoir une origine alimentaire. Ainsi, les hypocalcémies, liées à une mobilisation calcique insuffisante (fièvre de lait) peuvent entraîner des parts languissants. Une carence en oligoéléments (zinc, sélénium, calcium, magnésium...) engendre une augmentation du risque de dystocie.

2.3. Autres facteurs favorisant

En fonction des antécédents de la vache (dystocies antérieures, fractures du bassin...), le risque de dystocie est non négligeable.

Plus le temps de gestation au-delà de la date du terme prévue est long, plus le risque est important (21).

3. Fréquence

Ce sont les disproportions fœto-maternelles qui sont le plus fréquentes parmi l'ensemble des causes de dystocies chez les bovins (16).

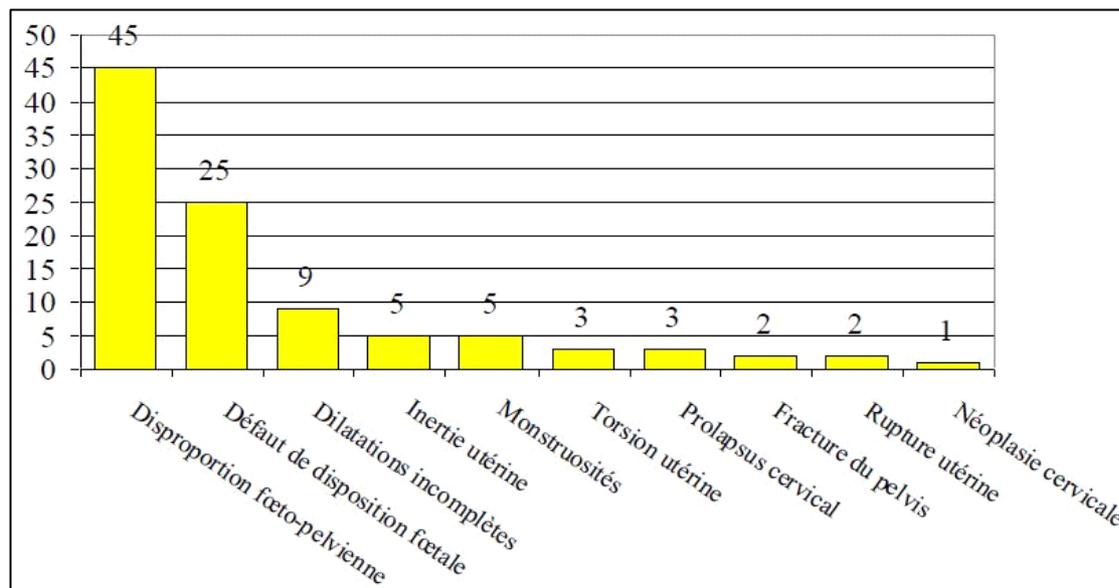


Tableau 2 : Taux des causes de dystocies les plus fréquentes en bovine (16)

La fréquence des dystocies varie en fonction des races et du rang de vêlage. Dans l'étude de J.F. Mee, elle varie de 3 à 22,6% chez les primipares, et de 1,5 à 13,7% chez les multipares (22). En Amérique du Nord, la prévalence est encore plus élevée, de 28,6% (23) à 51,2% (24) chez les primipares ; et de 10,7% (23) à 29,4% (24) chez les multipares.

En France, ce sont les races rustiques qui ont le plus de facilité de vêlage. Certaines vaches allaitantes (Charolaise, Bleu blanc belge) sont davantage prédisposées aux dystocies que d'autres.

Race	Blanc-Bleu-Belge	Charolaise	Blonde d'aquitaine	Limousine	Aubrac	Gasconne	Salers
Taux de césarienne chez les primipares (%)	82	9	3	1	1	1	1
Taux de césarienne chez les multipares (%)	69	4	2	0	0	0	1

Tableau 3 : Taux de césarienne chez les races allaitantes, en fonction du rang de vêlage (9)

Cette race Blanc bleu belge a subi une sélection génétique qui a conduit à une hypertrophie musculaire. Les femelles de cette race présentent un bassin trop étroit par rapport à la taille de leur fœtus. Les taux de dystocie sont tellement élevés que la césarienne est quasiment systématique.

4. Impact économique du vêlage

En plus des frais liés à l'intervention vétérinaire ou à la césarienne, un vêlage dystocique a un fort impact sur la rentabilité de l'élevage, en raison du risque accru de mortalité du veau au cours des premières 24 heures qui est 4,6 fois plus élevé chez un veau né suite à une dystocie. Le risque que le veau développe une maladie au cours des 45 premiers jours de vie est 2,4 fois plus élevé (25). En outre, les dystocies peuvent conduire à de l'infertilité, avec un risque de réforme précoce des femelles.

5. Prévention des dystocies

Environ 64% de la mortalité survenant dans les 3 premiers jours post-vêlage est causée par des dystocies (26) et au moins la moitié de ces pertes pourrait être évitée en apportant une assistance au vêlage (27).

Une bonne surveillance des vêlages, principalement chez les primipares, est importante à la fois pour le bien-être animal et pour assurer la rentabilité de l'élevage (28). Cependant cette surveillance nécessite un fort investissement en temps pour l'éleveur. Les outils d'aide à la surveillance du vêlage peuvent l'aider à mieux cibler le moment.

DEUXIÈME PARTIE

Outils d'aide à la surveillance des vêlages

I. INTRODUCTION

Les outils automatisés fondés sur la mesure des modifications physiologiques et anatomiques de la vache, précédant ou concomitantes à l'expulsion du veau, permettent d'aider l'éleveur à mieux cibler l'accouchement.

Ces outils doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- Permettre un gain de temps à l'éleveur tout en simplifiant son travail de surveillance
- Sensibilité élevée (taux de détection des vêlages) et spécificité importante (un taux de fausses alertes proche de zéro)
- Solides, ergonomiques
- Coût abordable

II. OUTILS D'AIDE À LA SURVEILLANCE DES VÊLAGES

1. Mesure de la température vaginale

Il existe deux systèmes d'aide à la surveillance des vêlages fondés sur la mesure de la température vaginale, la *VEL'BOX*® commercialisé par la société « Gènes diffusion », et la *VEL'PHONE*® commercialisé par « Medria ».

Le principe de ces deux outils consiste à la mise en place à l'intérieur du vagin de la vache d'une sonde ou thermomètre de forme cylindrique. Cette sonde possède des appendices à l'une de ses deux extrémités, ce qui permet son maintien dans le vagin.



Figure 4 : Représentation schématique des outils de détection du vêlage fondés sur la mesure de la température vaginale ; photo de gauche : Sonde Vel'Phone® (source Medria) ; photo de droite : Sonde Vel'Box® (source Genes Diffusion)

Ce système est en général mis en place par l'éleveur dans le vagin de la vache 10 jours à une semaine avant la date prévue du vêlage, en respectant les conditions d'hygiène.

1.1. Fonctionnement

Le thermomètre vaginal mesure la température vaginale qui est envoyée à une base radiométrique GSM située dans un rayon 200 mètres pour la VEL'PHONE® et près de 80 mètres pour le système VEL'BOX®. Les températures sont relevées toutes les minutes pour la VEL'PHONE® et toutes les 10 minutes pour la VEL'BOX®.

Les mesures de température transitent ensuite via une antenne relais GSM et sont envoyés à l'entreprise « Medria » ou « Gènes diffusion » qui les analyse avant de les communiquer à l'éleveur.

1.2. Communication à l'éleveur

L'éleveur reçoit un premier SMS lors de l'activation du capteur au moment de la mise en place du système vaginal. Puis, en l'absence de modifications évocatrices du vêlage, les relevés de température sont envoyés à l'éleveur par SMS toutes les 12 heures. Lorsque des variations de températures caractéristiques du vêlage sont enregistrées, alors un SMS est envoyé à l'éleveur l'avertissant que le vêlage aura lieu dans les prochaines 48 heures (« vêlage probable ou attendu »). Au moment de l'expulsion du thermomètre sous la poussée de la poche des eaux, un SMS indiquant un « vêlage imminent » est envoyé. L'éleveur peut alors arriver dans l'heure qui suit le message pour assister au déroulement du vêlage.



Figure 5 : Illustrations des transferts de données depuis la mesure de la température vaginale par les sondes jusqu'à leur réception par l'éleveur

1.3. Sensibilité et spécificité

Un essai visant à étudier la sensibilité et la spécificité des types d'alerte de la sonde VEL'PHONE a été mené sur 33 génisses et 55 vaches laitières (29). Les alertes VEL'PHONE sont classées en 3 catégories : ne alerte pour un vêlage probable dans les 48h, une autre alerte pour un vêlage attendu dans les 48h et une dernière alerte pour un vêlage imminent à l'expulsion du thermomètre vaginal.

La sensibilité (probabilité d'avoir un vêlage lorsqu'il y a une alerte) du thermomètre de vêlage est différente en fonction du type d'alerte :

- Sensibilité de 51% lorsque le vêlage est probable
- Sensibilité de 66% lorsque le vêlage est attendu
- Sensibilité de 98% lorsque le vêlage est imminent

La spécificité (probabilité de ne pas avoir de vèlage quand il n'y a pas d'alerte émise) est également différente suivant l'alerte :

- Spécificité de 52% pour un vèlage probable
- Spécificité de 84% pour un vèlage attendu
- Spécificité de 100% pour un vèlage imminent

Le système VEL'PHONE® a une très bonne sensibilité et une excellente spécificité lorsque les vèlages sont imminents, à l'expulsion du thermomètre. En revanche, les autres alertes sont moins fiables.

1.4. Coût

Le coût d'un tel système est d'environ 3500€ pour le kit comprenant 3 à 5 thermomètres vaginaux. La base radiométrique et l'abonnement ne sont pas inclus pour la VEL'PHONE®, mais sont compris dans le prix d'achat pour la VEL'BOX®.

2. Mesure des mouvements de la queue

Deux outils similaires, le système ALERT'VEL® de la société « ALB Innovation » détecte les mouvements d'accélération et d'inclinaison de la queue ; et le SMART VEL® commercialisé par l'unité de sélection « Evolution ».



Figure 6 : Photo du capteur ALERT'VEL® placé à la base de la queue des vaches gravides proches du terme pour détecter les mouvements de la queue au moment du vèlage

Le système ALERT VEL® est composé d'une pince queue, équipée de capteurs couplant deux fonctions, accéléromètre et inclinomètre. Il est également constitué d'un émetteur

radiométrique, fixé sur le haut de la queue et maintenu par du ruban adhésif. Il est recommandé de le mettre en place deux à trois jours avant la date prévue de vêlage (*source ALB Innovation*).

Le système SMART VEL® présente uniquement la fonction accéléromètre et le capteur est fixé de la même manière que l'ALERT VEL® à la base de la queue.

2.1. Fonctionnement et communication

Le principe de L'ALERT'VEL® est fondé sur l'augmentation du temps passé la queue levée, ainsi que sur l'augmentation des mouvements de la queue au moment de la mise-bas. Dès qu'un seuil est franchi, atteinte d'un certain temps passé la queue levée par exemple, le boîtier-récepteur branché sur le réseau téléphonique de l'exploitation ou sur le réseau GSM envoie une alerte sur le téléphone de l'éleveur. La distance de réception peut couvrir jusqu'à 2 kilomètres.

De la même manière, lorsque l'augmentation des mouvements de la queue est enregistrée par le capteur SMART VEL®, un signal est envoyé à la base radiométrique. La portée de la transmission du signal est de 300 à 800 mètres (*Source Evolution*).



Figure 7 : Principe de la communication depuis l'enregistrement des mouvements de la queue par le capteur jusqu'à l'appel de l'éleveur quelques instants avant le début du vêlage (*source Evolution*)

2.2. Sensibilité et spécificité

Aucune information concernant la sensibilité et la spécificité de ce système n'est actuellement disponible.

2.3. Coût

Le système ALERT VEL® vendu avec deux sondes, une antenne de réception, ainsi qu'un émetteur coûtera environ 3500€ à l'éleveur.

Le prix du système SMART VEL ® comprenant cinq capteurs et la radio-émettrice est de 3350 €.

3. Mesure des contractions abdominales

L'outil Agromonitor® est fondé sur la détection des contractions abdominales et utérines précédant la mise-bas. Ce système est proposé par la société « Databel ».

Le système Agromonitor® est composé d'une ceinture contenant un capteur détectant les contractions abdominales. Cette ceinture est placée autour de l'abdomen de la vache dans la dernière semaine précédant le vêlage (*source Databel*).



Figure 8 : Position de la ceinture Agromonitor® sur une vache (source Databel)

3.1. Fonctionnement et communication

La particularité de ce système est qu'il génère deux types d'alarme: une alarme de « surveillance » et une alarme d'« urgence ». Ainsi, pour un vêlage considéré pathologique pour lequel les contractions mesurées (en fréquence et en durée) au cours du vêlage sont anormales, un alerte « urgence » est envoyée à l'éleveur. Si les contractions se déroulent normalement, une alerte de « surveillance » indique à l'éleveur que le vêlage est imminent. Ainsi, l'éleveur reçoit les informations enregistrées par la ceinture. Il est ainsi averti en temps réel de l'approche du vêlage ou d'un problème nécessitant son intervention.

3.2. Sensibilité et spécificité

Aucune donnée scientifique concernant la sensibilité et la spécificité de cette ceinture n'est disponible.

3.3. Coût

Le dispositif, composé d'une ceinture et d'une centrale, coûte près de 2200€. L'abonnement est gratuit.

4. Etude du comportement locomoteur de la vache

Le capteur AfiTag Podometres®, mis au point par la firme « Afimilk », permet de suivre le comportement de la vache en mesurant le nombre de pas effectué par la vache. Ainsi, les piétinements indiquent la proximité du vêlage.

Le capteur est attaché à l'aide d'un lien au niveau d'un membre antérieur de la vache, une semaine avant la date prévue de vêlage.



Figure 9 : Position du capteur Afitag Podometres® sur le membre antérieur droit d'une vache (source Afimilk)

4.1. Fonctionnement et communication

Les données enregistrées par le capteur sont récupérées lorsque la vache passe à proximité d'une antenne de lecture qui est placée en général à l'entrée de la salle de traite dans un élevage laitier ou au distributeur automatique de concentrés.

Ce système permet de déceler des signes prémonitoires du vêlage, mais ne donne pas d'alerte au moment de l'expulsion du veau (source Afimilk).

4.2. Sensibilité et spécificité

Aucune donnée scientifique n'est disponible concernant la sensibilité et la spécificité de cet outil.

4.3. Coût

Le coût de quatre à cinq capteurs, ainsi que de la centrale est d'environ 3000€.

5. Mesure du temps de rumination

Le collier HR Tag® de la firme « SCR Dairy », associe un accéléromètre (servant à détecter les chaleurs) et un microphone capable d'évaluer les bruits liés à la rumination (source SCR Dairy).



Figure 10 : Collier HR Tag® placé à l'encolure des vaches

Le collier HR Tag® est positionné autour de l'encolure de la vache.

5.1. Fonctionnement et communication

Dès que le nombre de ruminations diminue en-deçà d'un certain seuil, un message alertant l'éleveur de l'imminence du vêlage dans les 24 heures est envoyé par SCR Dairy (14).

5.2. Sensibilité et spécificité

Aucune donnée scientifique n'est disponible concernant la sensibilité et la spécificité de cet outil.

5.3. Coût

Le coût du matériel comprenant cinq colliers, une centrale et un abonnement est estimé à 3750€.

6. VIDÉO-SURVEILLANCE

6.1. Principe et fonctionnement

La vidéo-surveillance permet à l'éleveur d'avoir une surveillance en continu de ses vaches, même la nuit grâce à la technologie infrarouge dont sont équipées les caméras. Une caméra infra-rouge est placée en hauteur dans l'étable. L'éleveur peut visualiser à distance les images enregistrées par la caméra sur un écran de télévision, d'ordinateur ou de smartphone.

Pour ce système, la détection des vêlages n'est pas automatisée. En outre, il nécessite l'utilisation d'un box de vêlage, car il est souvent difficile d'avoir des caméras qui permettent de filmer toute la stabulation.

6.2. Coût

Le coût des caméras de vidéo-surveillance permettant de surveiller un élevage d'une cinquantaine de vaches (acquisition de 2 ou 3 caméras) est de 3500 à 5000 € en fonction du modèle choisi.

III. BILAN

L'ensemble des outils d'aide à la surveillance des vêlages ont un caractère non invasif, sont relativement faciles à mettre en place et renseignent l'éleveur sur des modifications physiologiques caractéristiques ou associées au vêlage.

Il est possible de coupler plusieurs outils afin d'obtenir de meilleurs résultats, notamment la vidéosurveillance associé à un outil de détection du vêlage.

Les outils automatisés de surveillance des vêlages apportent une aide à l'éleveur et permettent une meilleure surveillance de cette période critique, notamment la nuit. Certains systèmes permettent même de cibler la dernière phase d'expulsion du vêlage, afin que l'éleveur ne se lève pas trop tôt et ne soit pas tenté d'intervenir trop précocement.

Le choix de l'outil dépend du système d'élevage et des systèmes associés. En effet, certains détecteurs de vêlage sont compatibles avec d'autres systèmes (DAC, podomètres) ou peuvent être utilisés pour d'autres types de détection (surveillance des chaleurs). En outre, l'utilisation de ces outils pour des vêlages groupés nécessitera un grand nombre de capteurs, ce qui peut augmenter le coût de l'équipement.

Des données récentes visent à définir des seuils de durée des comportements spécifiques indiquant un vêlage dystocique par rapport à un vêlage normal, comme la diminution du temps passé debout, l'augmentation significative du nombre de contractions musculaires abdominales et le temps passé avec la queue levée. Elles laissent entrevoir des perspectives intéressantes pour la détection spécifique des vêlages nécessitant une assistance.

Le tableau suivant compare les différents systèmes de surveillance des vêlages.

SYSTEME	INTERETS	LIMITES	COÛT
Température vaginale	Monitoring continu Bonnes sensibilité (98%) et spécificité (100%) dans les dernières heures précédant le vêlage Facilité de mise en place	Faibles sensibilité et spécificité de prédiction au-delà des 4 dernières heures Invasif Risque d'infection si l'antiseptie est insuffisante Perte du thermomètre fréquent au moment de son éjection (surcoût élevé)	3500€ (kit + 3 à 5 thermomètres vaginaux), sans base radio, ni abonnement
Mouvements de la queue	Monitoring continu Facilité de la pose Non invasif	Absence d'études publiées sur la spécificité et la sensibilité	3350€ (5 sondes + base radio) sans abonnement
Contractions abdominales	Monitoring continu Non invasif	Difficulté de mise en place (région difficile d'accès) Absence d'études publiées sur la spécificité et la sensibilité	2200€ (1 ceinture + 1 centrale) Abonnement gratuit
Piétinements et position	Monitoring continu Facilité de la pose	Recueil des données uniquement lors du passage devant une antenne Absence d'études publiées sur la spécificité et la sensibilité	3000€ (5 capteurs + centrale), sans abonnement
Temps de rumination	Monitoring continu Facilité de la pose Robustesse du matériel Reste en place toute la vie de la vache	Absence d'études publiées sur la spécificité et la sensibilité	3750€ (5 colliers + la centrale), abonnement inclus
Vidéo-surveillance	Robustesse Ergonomie Surveillance en continue	Détection non automatisée	3500 à 5000€

Tableau 4: Avantages et inconvénients des outils d'aide à la surveillance des vêlages

En élevage allaitant, le gain réalisé par l'éleveur pour la vente d'un broutard (prix dont ont été soustraites les charges liées à l'alimentation et aux frais vétérinaires) est de 600€

(source *Chambre d'agriculture*). Ainsi, la perte d'un veau lors de vêlage dystocique constitue un manque à gagner de 600€ pour l'éleveur. Par conséquent, une mauvaise surveillance des vêlages peut entraîner des pertes considérables pour l'éleveur. Le coût d'un outil de surveillance des vêlages est estimé à environ 3500€ à l'achat, et quelques centaines d'euros pour l'entretien annuel. Un tel système est rentable dès lors qu'il a permis la survie de 6 veaux issus de vêlages dystociques. A cela, il faut ajouter le gain de temps et la tranquillité d'esprit pour l'éleveur.

TROISIEME PARTIE

PARTIE EXPERIMENTALE

Evaluation d'un système de surveillance des vêlages, NEW DEAL®

La société « Happy Foaling », fondée par Monsieur Yvon Chaume et basée dans le département du Tarn, a déjà développé des systèmes d'alerte de la mise-bas chez la jument. Le système de surveillance du poulinage comporte une ceinture, placée autour de l'abdomen de la jument, qui mesure les contractions abdominales. L'éleveur est prévenu de l'imminence du poulinage grâce à un système d'alarme.

L'entreprise « Happy Foaling » conçoit également des caméras de vidéosurveillance adaptée pour les stabulations.

La société « Happy Foaling » souhaite développer un nouvel outil visant à détecter les vêlages, la sonde New Deal®. New Deal® est une sonde implantée dans les tissus sous-cutanés vulvaires de la vache pour détecter l'écartement des lèvres vulvaires et mesurer la température vulvaire. Ces deux marqueurs sont utilisés pour déterminer le moment du vêlage. Le principe de fonctionnement du dispositif est le suivant : quand l'écartement vulvaire est supérieur à un certain seuil pendant une durée déterminée, un message est envoyé à l'éleveur pour le prévenir de l'imminence du vêlage dans les minutes et jusqu'à quelques heures.

Notre étude expérimentale avait pour objectifs :

- (1) de tester l'innocuité du matériau utilisé pour la sonde, c'est-à-dire sa biocompatibilité.
- (2) De tester l'implantation de sondes New Deal® sur des vaches non gravides, et leur fonctionnement
- (3) De tester le fonctionnement de la sonde sur des vaches gravides

Nos essais ont été réalisés successivement, le passage à l'étape suivante n'est possible que lorsque l'essai précédent est validé.

I. MATÉRIEL

1. La sonde et l'aimant

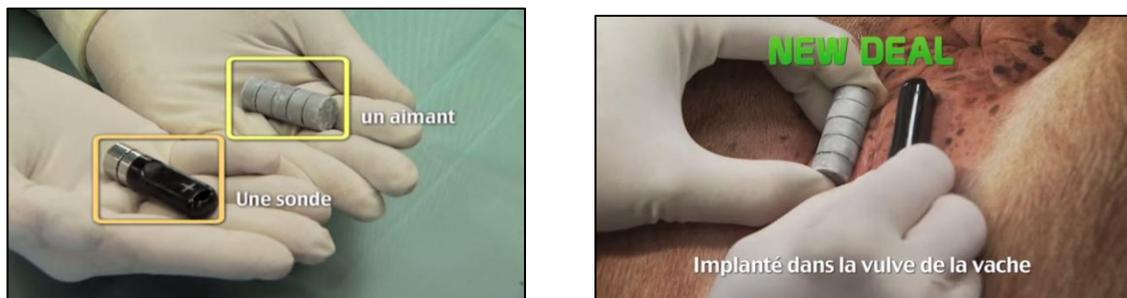


Figure 11 : Photographie de la capsule contenant la sonde et la pile, ainsi que de l'aimant sur la photo de gauche ; Emplacement de la sonde et de l'aimant lors de leur implantation intra-vulvaire (photo de droite)

1.1. La sonde

La sonde est composée d'un circuit relié à une pile Duracel® de 3 volts. L'ensemble est protégé par une capsule rigide constituée de PMMA. Ce matériau est très utilisé en médecine humaine car il est inerte (source Resinex). Les dimensions de la capsule sont de : 55 millimètres de hauteur, pour un diamètre de 15 millimètres pour sa base la plus large et 11,5 millimètres pour l'autre extrémité. Le poids de la capsule sans son contenu est de 20 grammes. Le circuit de la sonde est équipé d'un thermomètre et d'un capteur de magnétisme. Relié à la pile, il est également capable de transmettre les concernant l'état de charge de la pile.

La sonde est implantée dans les tissus sous-cutanés d'une des deux lèvres vulvaires de la vache. La sonde est maintenue inactivée pendant la majeure partie de la gestation ou pendant la période post-partum, et est activée à l'approche du vêlage, notamment au moment où l'éleveur place sa vache dans le box de vêlage.

La fenêtre de fonctionnement optimale se situe durant la semaine précédant la date de vêlage jusqu'au lendemain du vêlage. Dès sa mise en service, la sonde transmet au système un code de fonctionnement. Puis elle se place en veille intelligente et transmet différents paramètres nécessaires à la surveillance du vêlage: la température intra-vulvaire et l'écartement de la vulve. Un seuil d'écartement vulvaire d'environ 3 cm a été paramétré lors de l'installation de la sonde.

Les informations reçues sont consultables par l'éleveur via une interface graphique disponible sur son PC/MAC, Smartphone ou Tablette. Il lui est ainsi permis de suivre aisément l'évolution de la température et les modifications indiquant l'imminence d'un vêlage.

1.2. L'aimant

Placé dans le tissu sous-cutané de la lèvre vulvaire opposée à celle où est implantée la sonde, l'aimant permet de maintenir localement un champ magnétique afin de détecter toute variation de la distance sonde-aimant, élément déclenchant du signal d'alerte "vêlage". L'aimant est contenu dans le même type de capsule que la sonde, c'est-à-dire d'une capsule de 20 grammes constituée de PMMA.

2. Le trocart



Le trocart est constitué de deux parties vissées entre elles. La première partie est composée d'un manche gris métallique en inox terminé par un manchon bleu pour faciliter la prise en main. La deuxième partie du trocart est formée d'une lance à 3 lames, intégralement constituée en inox de couleur violette. Les deux parties du trocart se séparent facilement en les dévissant

Figure 12 : Trocart servant à la tunnelisation du dispositif (sonde ou aimant) dans les tissus sous-cutanés

Le trocart permet d'inciser le tissu cutané de la lèvre vulvaire ventralement, pour faire progresser le dispositif à travers le tissu sous-cutané en direction dorsale de la lèvre où une deuxième incision est réalisée.

La partie comportant le manche est dévissée et retirée par l'incision ventrale, alors que celle en inox violet sort de la plaie par l'incision dorsale.

3. La station d'écoute et de transmission

La station, installée dans le périmètre du box de vêlage, reçoit toutes les données de toutes les sondes en service dans un rayon de 50 mètres maximum. La station stocke les données des sondes et les envoie via GSM sur les serveurs de traitement de la société « Happy

Foaling » où toutes les informations sont enregistrées et sécurisées. Ainsi, l'éleveur peut consulter les informations enregistrées par les sondes en service tout au long de la journée.

Le système détecte l'ouverture de la vulve et prévient immédiatement l'éleveur sur son téléphone portable via un SMS ou un message vocal, indiquant que le vêlage est imminent.

Après le vêlage, il est conseillé de garder le système reste activé 24 heures, ce qui permet de détecter d'éventuels prolapsus utérins post-vêlage.



Figure 13 : Station GSM installée dans un élevage, elle reçoit les informations enregistrées par la sonde et les transmet à la société « Happy Foaling »

4. L'activateur ou télécommande d'activation



L'activateur permet à l'éleveur d'activer et d'éteindre la sonde à tout moment. Il suffit de positionner la télécommande au-dessus de la région vulvaire et d'appuyer sur on/off afin d'allumer/éteindre la sonde. L'éleveur l'active une semaine à 10 jours avant la date prévue du vêlage. Il l'éteint 24 à 48h après le vêlage.

Figure 14 : Télécommande servant à l'activation et à l'arrêt de la sonde

5. Le serveur

Le serveur utilisé pour ce système est Internet. L'éleveur et le vétérinaire peuvent suivre en continu l'évolution des trois paramètres (température vulvaire ; champ magnétique correspondant à l'état d'écartement des lèvres vulvaires ; et état de la batterie) sur une interface commune via un PC, un Smartphone ou une Tablette. Les différents paramètres sont mesurés toutes les 6 minutes. Une mise à jour sur l'interface a lieu toutes les 2 heures.

6. Transmission du signal

La station d'écoute réceptionne toutes les données des sondes activées, les stocke, et les envoie sur les serveurs de la société « Happy Foaling » en passant par les antennes relais de type GSM. « Happy Foaling » traite toutes les données reçues, les corrige, puis les envoie sur l'interface où elles sont consultables à tout moment de la journée. Lors d'une alerte de vèlage, un message est directement envoyé sur le téléphone de l'éleveur, soit sous forme de message vocal, soit en message écrit.

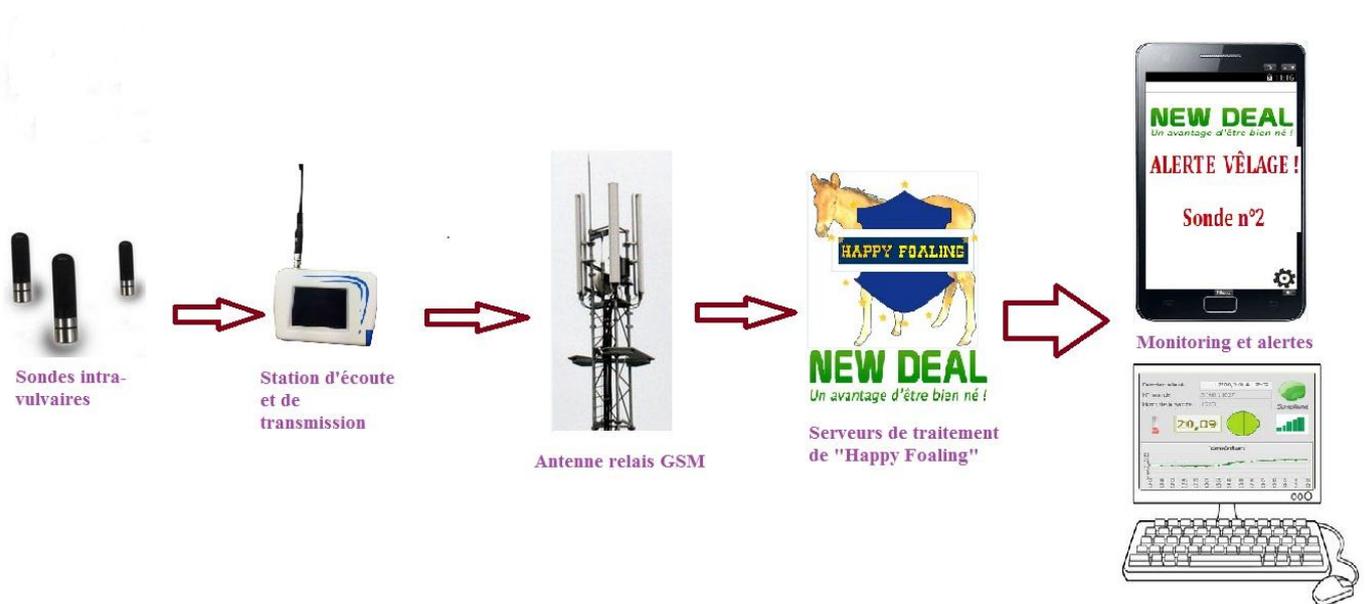


Figure 15 : Schéma des étapes depuis l'enregistrement des données par les sondes jusqu'à leur visualisation sur une interface accessible à l'éleveur, ainsi que la transmission du message d'alerte de déclenchement du vèlage

II. PROCEDURE D'IMPLANTATION CHIRURGICALE DE LA SONDE ET DE SA MISE EN SERVICE

L'implantation de la sonde New Deal® est réalisée chirurgicalement, et nécessite l'intervention d'un vétérinaire.

1. Préparation du matériel

Au cours des premières expérimentations, la stérilisation des sondes était réalisée par trempage dans une cuve contenant une solution d'Aseptiline Instrument® diluée à 1% pendant une durée de 30 minutes. Il s'agit d'un nettoyant-désinfectant poly-enzymatique à action bactéricide, fongicide et virucide. Le matériel a été ensuite rincé et placé dans une boîte stérile jusqu'à son utilisation. Le matériel chirurgical vétérinaire a été classiquement stérilisé à la vapeur d'eau dans un autoclave.

Lors de la dernière expérience, la stérilisation du matériel a été effectuée à l'hôpital de Carcassonne. Le système STERRAD®, stérilisateur par gaz de plasma de peroxyde d'hydrogène a été utilisé pour stériliser le matériel d'implantation (capsule), ainsi que le trocart utilisé pour l'implantation.

2. Anesthésie épidurale

Pour insensibiliser les voies génitales postérieures, une anesthésie épidurale est réalisée avec un mélange de xylazine (à 0,05mg/kg) et de lidocaïne (à 0,22mg/kg). Le délai d'action est de 5 à 10 minutes. La durée d'action est d'environ 300 minutes, largement suffisant pour l'implantation de la sonde.

Le site de ponction (espace sacrococcygien) est repéré par palpation et en mobilisant la queue. Cet espace est tondu, nettoyé et désinfecté.

Dans le plan médian de l'articulation sacro-coccygienne, une aiguille de 18G est insérée suivant un angle de 60° en direction cranio-ventrale. L'injection de l'anesthésiant est réalisée lentement.

3. Préparation de la zone périgénitale

Un nettoyage puis une désinfection de la région vulvaire sont effectués avec une solution savonneuse à base de povidone iodée, la Vetedine solution®.

Figure 16: Nettoyage et désinfection de la zone chirurgicale d'implantation de la sonde et de l'aimant.



4. Implantation de la sonde

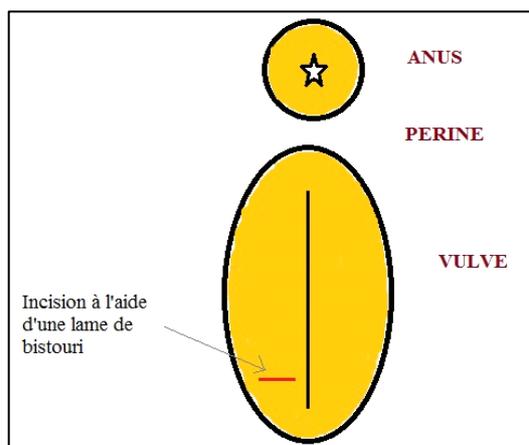


Figure 17 : Zone d'incision en partie ventrale de la lèvre vulvaire

Une incision est pratiquée au niveau de la partie ventrale de la lèvre vulvaire (figure 18). Puis, les tissus sous-cutanés sont dilacérés dorsalement, de manière à insérer verticalement la capsule (sonde/aimant) dans chaque lèvre.

La flèche du trocart présente un trou au niveau duquel est fixé un fil de suture non résorbable reliant la capsule contenant la sonde pile/aimant.

Le trocart permet ainsi d'insérer la capsule dans le tissu sous-cutané, et son extrémité acérée permet de réaliser une incision de la vulve au niveau de sa partie dorsale par laquelle la partie violette du trocart est extraite après avoir dévissé le manche. Au niveau de cette incision dorsale, un point de suture est réalisé, qui permet de fixer la capsule. La partie manche du trocart est retirée par l'incision ventrale.



Figure 18 : Insertion de la capsule (contenant l'association sonde-pile ou les aimants) dans le tissu sous-cutané vulvaire après tunnelisation grâce au trocart

5. Suture de la vulve

La peau est suturée par un surjet simple avec du fil non résorbable de type Ethilon®. Les points seront retirés quinze jours plus tard par le vétérinaire, qui contrôlera l'état de la cicatrisation.

6. Réglage de la sonde

L'établissement d'un seuil d'écartement vulvaire (distance entre les deux lèvres) est réalisé après l'implantation de la sonde et de l'aimant. Le vétérinaire écarte les deux lèvres vulvaires d'environ 3 centimètres. L'éleveur, à l'aide de l'activateur, enregistre cet écartement comme étant le seuil d'ouverture des lèvres. Dès que l'écartement des lèvres dépasse ce seuil pendant une durée supérieure ou égale à 5 secondes, l'éleveur est alerté sur son téléphone via un SMS ou message vocal.



Figure 19: Ecartement manuel des lèvres vulvaires afin de définir un seuil d'ouverture conduisant à une alerte vêlage

L'activation de la sonde en pré-partum ou sa désactivation en post-partum se déroule de la même façon : l'activateur est placé au-dessus de la vulve en appuyant sur le bouton « on » pour l'activer et « off » pour l'éteindre.



Figure 20: Activation et désactivation de la sonde New Deal® à l'aide de la télécommande

III. SUIVI DES PARAMÈTRES

La société « Happy Foaling » traite l'ensemble des données enregistrées par chacune des sondes en service, à l'aide d'un logiciel dédié. Après vérification, les données sont sécurisées sur une interface accessible à l'éleveur. L'éleveur a accès à cette interface grâce à un code et un mot de passe, et peut ainsi visualiser à tout moment les données enregistrées par la sonde (la température vulvaire, le champ magnétique correspondant à l'état d'ouverture de la vulve, ainsi que la batterie de la pile).

L'interface est actualisée automatiquement toutes les deux heures. Ainsi, New Deal® fournit un monitoring en continu, mis à la disposition de l'éleveur 24 heures sur 24.

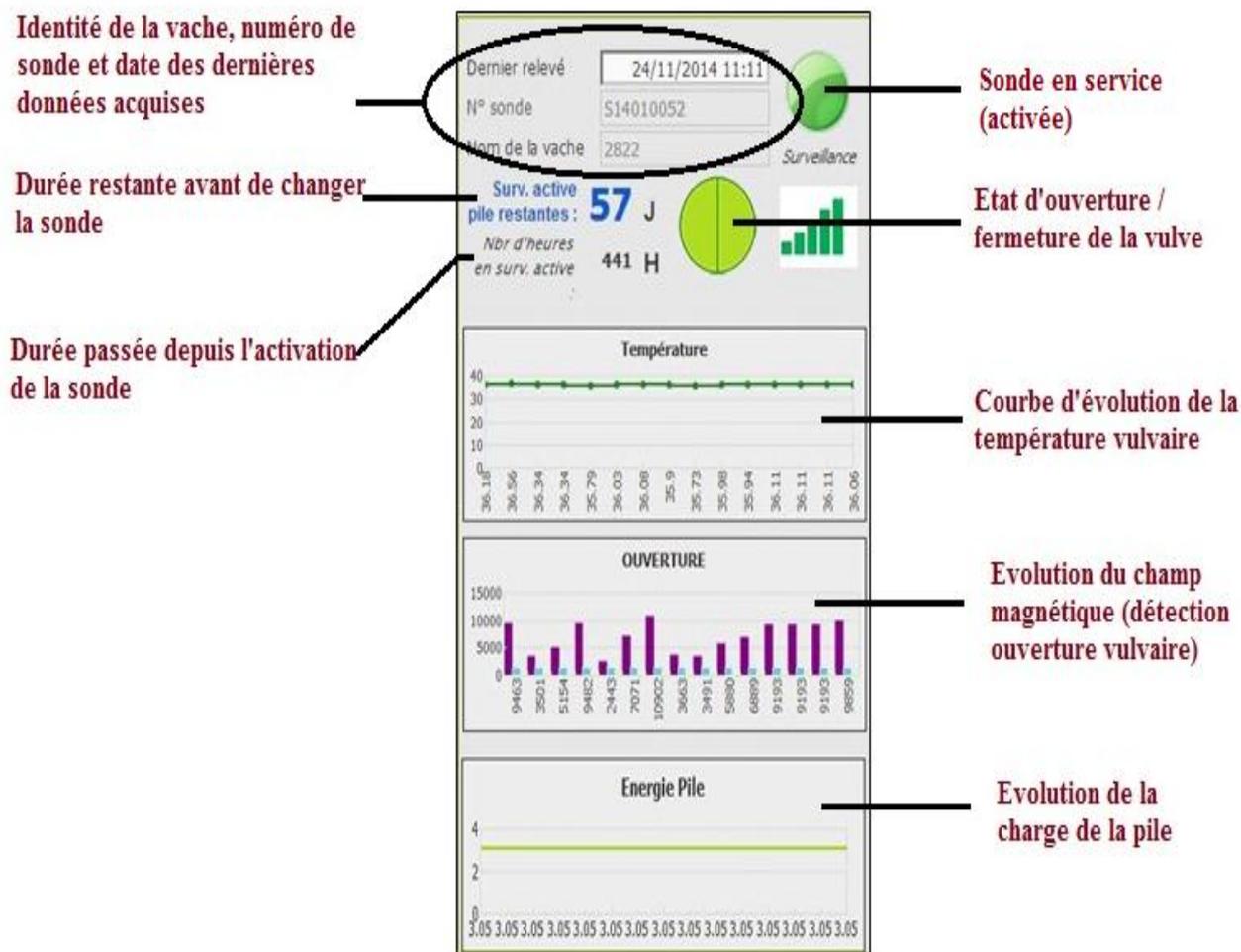


Figure 21: Informations affichées en temps réel sur la page d'accueil de l'interface et visualisables sur l'ordinateur ou le smartphone de l'éleveur

1. Suivi de la température vulvaire

Le relevé de la température vulvaire est effectué toutes les 5 à 10 minutes par la sonde qui est équipée d'un capteur de température. Les données sont transmises à la société « Happy Foaling » qui vérifie la plausibilité en filtrant les données.

L'illustration du tableau suivant nous indique qu'à 09h50min01s la température mesurée est de 33,59°C, et la température filtrée corrigée est à 36,073°C. En effet, il y a un écart de plus de 2°C entre cette température et les températures mesurées quelques minutes avant ou après cette mesure. Ainsi, grâce au traitement des données, l'évolution de la température et l'état d'ouverture de la vulve sont indiquées en temps réel.

Heure	Température vulvaire relevée (°C)	Température vulvaire filtrée (°C)
09:08:40	35,93	35,737
09:15:17	35,71	35,744
09:21:54	35,53	35,756
09:28:30	35,13	35,7723333
09:28:32	35,13	35,7946667
09:35:09	35,1	35,823
09:41:45	34,95	35,859
09:43:35	34,5	35,8996667
09:43:48	34,35	35,957
09:43:55	34,35	36,0153333
09:50:31	33,59	36,073
09:57:08	35,28	36,1566667
10:03:44	35,96	36,188
10:10:21	36	36,1896667
10:16:58	36,15	36,1883333
10:23:34	36,4	36,1816667
10:30:11	36,35	36,1713333

Tableau 5: Extrait de données de températures vulvaires mesurées par la sonde n°2 de l'expérience II le 17/11/14 et corrigées par le logiciel de la société Happy Foaling avant de les mettre en ligne sur la plateforme.

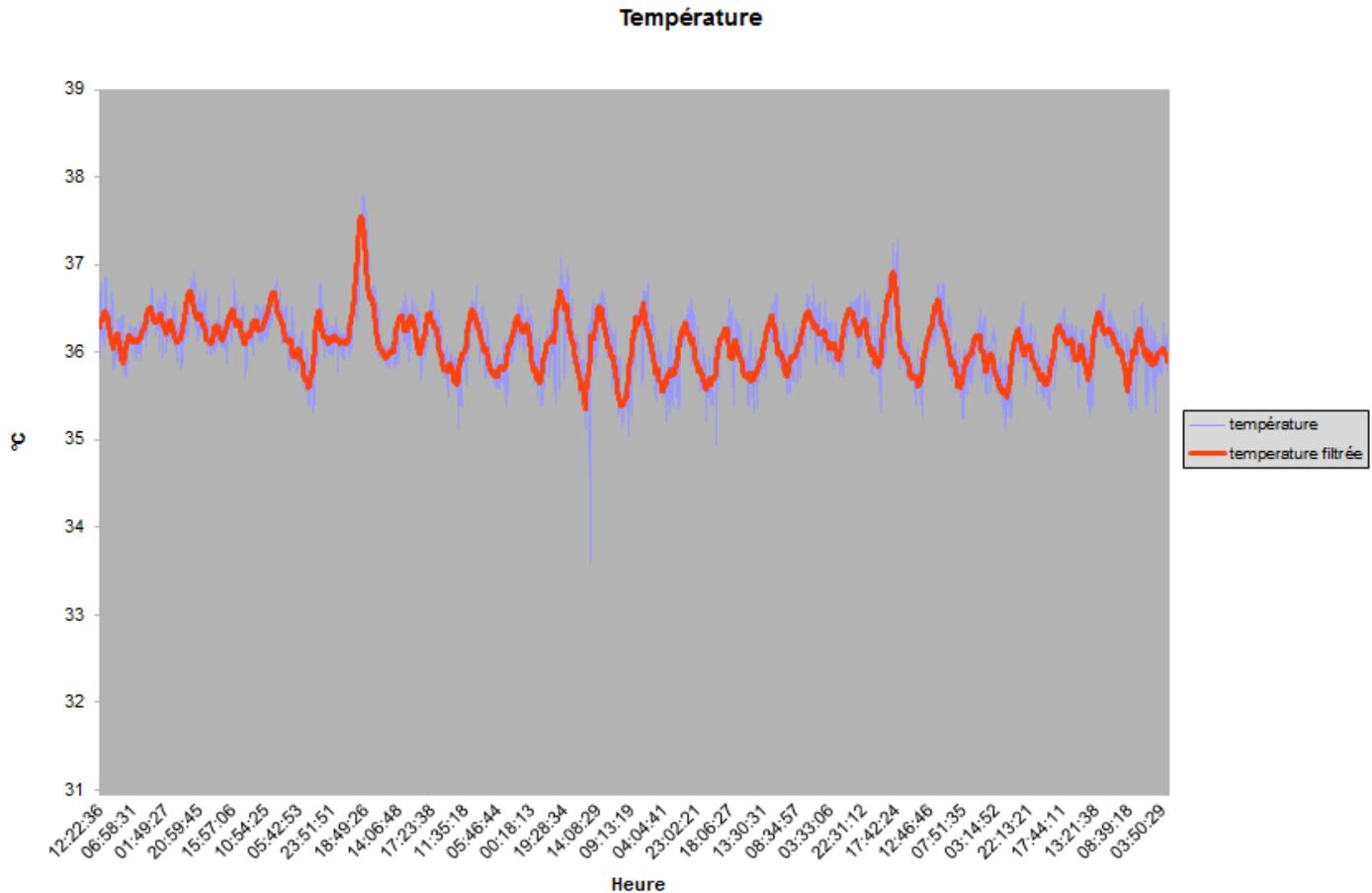


Figure 22 : Evolution temporelle de la température vulvaire mesurée (en mauve) et filtrée (en rouge) au cours du temps, telle qu'elle est représentée sur la plateforme (extrait de la sonde n°2 de l'expérience II)

2. Suivi de l'ouverture / fermeture de la vulve via le champ magnétique :

L'étude de l'écartement vulvaire est fondée sur la mesure du champ magnétique émis l'aimant mis en place dans la lèvres vulvaires. Ce champ est mesuré par le capteur de la sonde inséré dans la lèvres opposée. Un seuil d'ouverture et de fermeture ont été définis au moment de la pose de la sonde. Dans les premières heures suivant l'implantation de la sonde, la valeur du champ magnétique subit d'importantes variations pouvant dépasser ponctuellement le seuil d'ouverture et déclencher une alerte. Ces variations sont dues au mouvement que subissent les capsules lors des remaniements des tissus au cours des processus inflammatoire et cicatriciel dans les premières heures post-implantation.

Le principe est le même que pour la température vulvaire : le champ magnétique indiquant l'état d'ouverture de la vulve est harmonisé par un logiciel de la société « Happy Foaling ». Ce procédé empêche le déclenchement inapproprié de l'alarme lorsque la mesure de la sonde est incorrecte, notamment dans les jours suivants l'implantation lorsque les capsules ne sont pas encore fixées dans les tissus.

Heure	Champ magnétique relevé	Champ magnétique filtré
12:29:29	-83	-80
12:36:07	-89	-80
12:42:45	-75	-79
12:49:22	-89	-80
12:56:00	-87	-80
13:02:37	-74	-79
13:09:15	-63	-80
13:15:52	-80	-80
13:22:30	-88	-80
13:29:07	-74	-80

Tableau 6: Extrait de données de champ magnétique enregistrées par la sonde n°2 de l'expérience II du 5/11/14 et corrigées par le logiciel de la société « Happy Foaling »

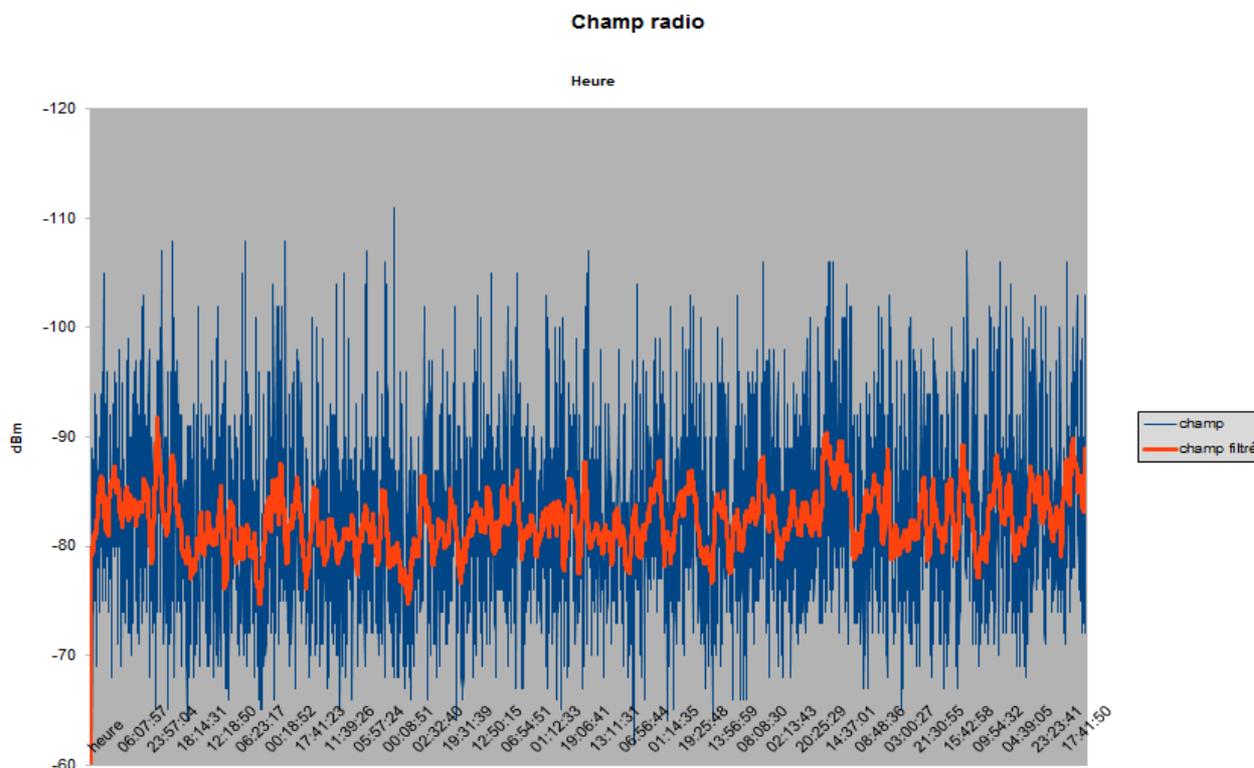


Figure 23: Evolution temporelle du champ magnétique mesuré (en bleu) et filtré (ou corrigé, en rouge) au cours du temps. Cette figure n'est pas visualisable sur la plateforme

IV. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

L'objectif de nos expériences a été de valider le dispositif New Deal® sur les animaux, en évaluant l'innocuité du matériel et le déclenchement du dispositif lors d'écartement vulvaire.

La mise au point de la sonde a été réalisée au cours des cinq premières expériences menées en trois étapes (Tableaux 7 et 8).

- La première étape a pour objectif de confirmer l'histocompatibilité de l'ensemble des matériaux implantés. Cette étape a été validée au cours de l'expérience I.
- La seconde étape a consisté à vérifier le fonctionnement du matériel lorsque la sonde et l'aimant sont implantés, sur des vaches non gravides destinées à l'abattoir, au cours des trois expériences II, III et IV.
- Enfin, la dernière étape a pour objectif de vérifier le fonctionnement de la sonde dans des conditions réelles, c'est-à-dire sur des vaches gravides. Cette étape a été évaluée au cours de l'expérience V.

Expériences	Dates du déroulement des expériences (début-fin)
I	15 jours en 2012
II	(5 novembre – 1 décembre) 2014
III	(10 décembre – 16 décembre) 2014
IV	(31 mars – 19 mai) 2015
V	(28 avril – 26 mai) 2015

Tableau 7 : Dates de début (correspondant au jour d'implantation intra-vulvaire de la sonde) et de fin (jour du retrait des sondes) de chaque expérience

Expériences	Principe et objectifs
I	Evaluation de la biocompatibilité du matériau PMMA, constituant de la capsule. Les implantations ont été réalisées avec la capsule vide.
II III et IV	A l'intérieur d'une lèvre vulvaire sera implantée la capsule contenant le circuit associé à la pile ; et dans l'autre lèvre se trouveront les aimants à l'intérieur d'une capsule. Le but de cette expérience est de faire fonctionner la sonde in vivo. Ainsi, les données devront être enregistrées par la sonde, transmises à la station d'écoute, puis transférées sur l'interface. La sonde devra avertir l'éleveur lorsqu'un écartement vulvaire dépassant le seuil d'ouverture pendant plus de 5 secondes sera réalisé manuellement. L'évolution des différents paramètres enregistrés doit être visualisée en continu sur l'interface.
V	L'implantation est effectuée sur des vaches gestantes. Dans ces conditions, lors de la mise-bas l'éleveur devra être alerté au moment de l'éjection de la poche des eaux, ainsi qu'au passage du veau lors de son expulsion.

Tableau 8 : Principes et objectifs de chaque expérience

1. Animaux et lieux d'implantation

Les essais se sont déroulés sur des vaches allaitantes de race Limousine, sur deux sites différents:

- Au GAEC de la Chevèche à Azat le Riz (87), appelé site A
- A Gaillac (81), dans l'élevage de Monsieur Delsahut, appelé site B

Pour chaque expérience, trois vaches ont été implantées dans un élevage donné.

L'opérateur réalisant les implantations a été le vétérinaire de chaque élevage, qui est différent en fonction du site.

Les expériences se sont déroulées de la manière suivante:

- Dans un premier temps, des vaches non gravides et destinées à l'abattoir ont servi à l'implantation de la sonde de vêlage, à la fois sur les sites A et B.
- Puis, des vaches gravides du site A ont été implantées 3 mois avant le terme.

2. Procédures expérimentales

Les expériences ont été échelonnées dans le temps, chaque étape de validation conditionnant l'étape suivante. Les procédures expérimentales sont décrites dans le tableau 9.

EX P	Site	Animaux	Stérilisation	Conditions	Modifications de procédure	Antibioprophylaxie
I	A	3 vaches vides destinées à l'abattoir	Trempage dans une cuve avec du liquide aseptisant	cage de contention ; temps de pose = 30 minutes environ	-	Injection de Duplucilline® (Benzylpénicilline) en IM à la dose de 1,24 mg par kg de poids vif à J0
II	A	3 vaches vides destinées à l'abattoir	Trempage dans une cuve avec du liquide aseptisant	cage de contention ; temps de pose = 20 à 30 minutes	-	Injection de Duplucilline® (Benzylpénicilline) en IM à la dose de 1,24 mg par kg de poids vif à J0
III	B	3 vaches vides destinées à l'abattoir	Trempage dans une cuve avec du liquide aseptisant	Absence de cage de contention ; temps de pose par vache > 45 minutes	-	-
IV	A	3 vaches vides destinées à l'abattoir	Trempage dans une cuve avec du liquide aseptisant	cage de contention ; temps d'implantation par vache = 13 à 20 minutes	Trocart	Injection de Duplucilline® (Benzylpénicilline) en IM à la dose de 1,24 mg par kg de poids vif à J0
V	A	3 vaches non gestantes destinées à l'abattoir	par gaz de plasma de peroxyde d'hydrogène	cage de contention ; temps d'implantation par vache d'environ 15 minutes	Trocart et mode de stérilisation	Injection de Duplucilline® (Benzylpénicilline) en IM à la dose de 1,24 mg par kg de poids vif à J0

Tableau 9 : Procédures expérimentales utilisées pour l'implantation du dispositif New Deal® pour chaque expérience

V. RESULTATS

Le tableau 10 décrit les résultats pour chaque expérience.

Expériences	Suivi	Résultats	Conclusions
I	Le vétérinaire s'est rendu tous les 3 jours sur le site afin de contrôler que le tissu de la vache supportait les implants. Les implants ont été retirés à J15.	Aucune des trois vaches implantées de la capsule en PMMA n'a développé d'infection pendant les quinze jours d'implantation en intra-vulvaire.	Le matériau PMMA utilisé pour la fabrication de la capsule est biocompatible avec le tissu sous-cutané de la vache en région vulvaire
II	Deux sondes ont enregistré correctement les données, ont répondu positivement aux tests réalisés (émission d'alerte lors d'écartements vulvaires provoqués manuellement). La dernière sonde a connu un dysfonctionnement, elle a enregistré des mesures incohérentes. Quelques fausses alertes d'ouverture vulvaire ont été enregistrées dans les premières heures suivant l'implantation.	Du point de vue technique, le système a bien fonctionné. Excepté pour une sonde (n°3) qui a enregistré des mesures fausses, puis a été rejetée par la vache, suite à une infection locale. Au retrait des deux autres sondes, aucune infection n'a été mise en évidence	L'ensemble du système a techniquement bien fonctionné. Les sondes ont enregistré les données, les ont transmises. Ensuite, l'éleveur a pu suivre l'évolution des données sur l'interface, et être alerté aux moments des tests d'écartements vulvaires provoqués. Surveiller les infections localement.
III	Les relevés de température vulvaire ont montré que pour l'ensemble des sondes, la température n'a cessé d'augmenter depuis l'implantation jusqu'à leur rejet. Pas de test d'ouverture vulvaire réalisé.	Les trois sondes ont été rejetées par les vaches très rapidement, suite à une infection au niveau du site chirurgical d'implantation.	Techniquement, le système a de nouveau bien fonctionné (enregistrement et transfert des données). Des infections arrivent très précocement, ce qui empêche de réaliser des tests sur les sondes.
IV	La tension de la batterie de la sonde de la vache n°2 s'éteint régulièrement.	Perturbation de la prise de mesures pour une vache (n°2) à cause d'une batterie défailante. Une infection intra-vulvaire n'a pas permis de mesures sur le long terme pour la vache n°1 puisque la capsule a été rejetée. Concernant la dernière vache, tout s'est bien passé, et aucune	Concernant la logistique, la batterie de la pile n'est pas satisfaisante. De plus, une nouvelle infection a eu lieu au cours de cette expérience. Le problème majeur concerne les infections récurrentes.

		infection n'était présente lors du retrait de la sonde	
V	Les données de la sonde ont été parfaitement transmises, et les tests d'ouverture forcés ont conduit à une alerte.	Deux des trois vaches ont connu un rejet de la capsule. Concernant la dernière vache, une infection a été mise en évidence au moment du retrait de la sonde. Tout le matériel a été retiré avant la date prévue pour le vêlage.	L'expérience n'a pas pu aller jusqu'à son terme (vêlage), à cause des infections intra-vulvaires.

Tableau 10 : Résumé des résultats de chaque expérience

Du point de vue technique, le système New Deal® fonctionne pleinement. Il manquerait un test de confirmation sur des vaches gestantes afin de vérifier le déclenchement de l'alerte dans les conditions réelles.

Un souci majeur demeure, il s'agit du taux d'infection (ou de rejet) causé par la sonde. Dans ces conditions, une validation du système New Deal® n'est pas envisageable.

EXPERIENCE	Sonde / Vache	Fonctionnement du matériel (sonde – serveur – interface)	Réponse (positive ou négative) aux tests d'ouverture vulvaire provoquée	Rejet et/ou infection
II	1	Oui	Positif	Non
II	2	Oui	Positif	Non
II	3	Oui	Positif	Oui
III	1	Oui	-	Oui
III	2	Oui	-	Oui
III	3	Oui	-	Oui
IV	1	Oui	Positif	Non
IV	2	Non	Négatif	Oui
IV	3	Oui	Positif	Oui
V	1	Oui	-	Oui
V	2	Oui	-	Oui
V	3	Oui	-	Oui

Tableau 11 : Récapitulatif de l'état de fonctionnement du matériel, de la réceptivité des capteurs de la sonde, ainsi que de l'état des tissus de la vache pour chaque expérience

1. Réponse positive aux tests

Des tests d'écartement vulvaires manuels (écart supérieur à 3 cm entre chaque lèvre et pendant au moins 5 secondes) sont suivis d'une alerte dans 5 cas sur 6, soit avec un taux de réussite de 83,33%.

Interprétation : La sonde où les tests n'ont pas généré d'alerte était une sonde qui était soit mal positionnée, soit l'infection précoce a influé sur la position de la sonde qui a enregistré des mesures incorrectes tout au long de son fonctionnement.

2. Fonctionnement du système New Deal®

Dans 11 cas sur 12, l'ensemble du matériel depuis la prise de données jusqu'à leur visualisation sur l'interface a été un succès, soit un taux de réussite de 91,67%.

La sonde pour laquelle les données n'ont pas été transmises en continu a connu un dysfonctionnement concernant la batterie qui se déchargeait par intermittence.

3. Infection et/ou rejet de la capsule (sonde et/ou aimant)

Pour 75% des sondes, il y a eu une infection et/ou un rejet, c'est-à-dire concernant 9 sondes sur 12. Seulement 25% des sondes implantées n'ont pas conduit à une infection ou à un rejet.

4. Durée de vie de la batterie

Sondes de l'expérience II Charge de la pile (en Volts) depuis l'implantation jusqu'à son retrait (26 jours)

1	3,18 à 3,05
2	3,21 à 2,85
3	3,19 à 2,92

Tableau 12 : Evolution de la charge des piles de la sonde au cours de l'expérience II, ayant duré 26 jours

Au cours de l'expérience II, la pile s'est déchargée au maximum de 12%, soit moins de 0,5% par jour. A ce rythme de décharge, une sonde pourrait rester active durant près de 216 jours en pleine charge.

Ainsi, si une vache vêle tous les 9 mois avec une sonde active 10 j avant et 2 j après le vêlage, alors une telle vache peut réaliser jusqu'à 18 vêlages avant de remplacer la pile.

5. Temps de pose

Le temps de pose commence par l'anesthésie épidurale, se poursuit par le lavage de la zone chirurgicale et se termine par l'implantation des deux capsules et par les sutures cutanées. Pour un même manipulateur, l'évolution du temps de pose au cours des expériences est renseignée dans le tableau suivant.

Expérience	Temps moyen de la pose des deux capsules par vache (en minutes)
I	30
II	25
IV	17,5
V	15

Tableau 13 : Evolution du temps de pose du vétérinaire réalisant les implantations au site A

Il est à noter un gain concernant le temps de pose de la sonde au cours des expériences. Un temps de pose moyen de 30 minutes pour la première série d'expérience, alors qu'il a été réduit de moitié (15 minutes) lors de la dernière expérience. Il faut aussi remarquer l'apparition du trocart à partir de l'expérience IV. Celui-ci a contribué grandement au gain du temps de pose.

Le temps de pose idéal pour une implantation d'environ 15 minutes est le suivant :

- Anesthésie et attente de l'effet : 3 à 3.30 minutes
- Nettoyage de la vulve (minimum de 3 passages) : 4 minutes
- Pose des capsules et sutures : 6 à 8 minutes

6. Conclusion des expériences

Un résultat commun à chaque expérience est l'importante fluctuation de la température vulvaire, ainsi que celle du champ magnétique dans les premiers jours suivant l'implantation. La température vulvaire augmente progressivement durant les premières heures, alors que le champ magnétique connaît de plus ou moins grande amplitude de variation (pouvant conduire à de fausses alertes).

De manière générale, le système New Deal® a correctement fonctionné du point de vue technique. La sonde a enregistré les paramètres de « température vulvaire » et de « champ magnétique » correspondant à l'état d'ouverture des lèvres vulvaires. Ces données ont été enregistrées toutes les 5 à 10 minutes, puis ont bien été envoyées jusqu'à l'interface. Les tests manuels d'ouverture des lèvres ont très majoritairement conduit à l'émission d'une alerte. La batterie de la pile a une durée de vie suffisante pour que la sonde puisse rester

implantée durant toute la carrière de la vache. L'expérience du manipulateur permet un gain du temps de pose.

Le problème majeur rencontré est le rejet de la sonde. Celui-ci est systématiquement accompagné d'une infection des tissus.

VI. HYPOTHESES

Des difficultés ont été rencontrées au cours de chaque expérience. Face à ces problèmes, des questions se sont posées et des réponses ont été émises. Dans le tableau suivant, les différentes hypothèses faites à l'issue de chaque expérience sont détaillées.

Expériences	Hypothèses
I	-
II	Explication des infections : La sonde à l'origine a été mise en place avec un temps de pose plus long, ce qui a pu favoriser une contamination. L'origine de l'infection n'est pas connue, puisque toutes les précautions au niveau hygiénique ont été correctement prises.
III	Explication des infections : Le rejet des sondes pourrait avoir comme cause les mauvaises conditions hygiéniques au moment de leur implantation. En effet, la vulve ouverte au contact du sol aurait favorisé le risque d'infection. La précocité de l'infection pourrait être due à la fois à l'absence d'antibiothérapie, ainsi qu'aux mauvaises conditions hygiéniques.
IV	Explication de la défaillance de la batterie : la batterie qui a connu des perturbations au cours de l'expérience avait déjà été utilisée pour des expériences antérieures, ce qui minimise un peu le problème. Il ne s'agit pas d'une pile neuve, même si la charge était quasiment au maximum. Quelle est réellement la durée de vie des piles in vivo ? Explication de l'infection : l'infection a été précoce (6 jours post-implantation), malgré une antibioprofylaxie. L'infection pourrait-elle provenir du matériel mis en place ? Y-a-t-il eu un problème hygiénique sur cette vache au moment de la pose ?
V	Explication des infections : Le rejet de la sonde de la vache n°1 serait au moins en partie dû au fait que le vétérinaire a suturé avec du fil résorbable, ce qui aurait fragilisé la cicatrisation. Dans tous les cas une infection était présente. Une origine hypothétique de l'infection serait le matériau de la capsule dont la biocompatibilité serait remise en cause.

Tableau 14 : Explications hypothétiques face aux problématiques rencontrées lors de chaque expérience

La variation des valeurs des paramètres mesurés dans les premières heures post-implantation semblerait correspondre au temps nécessaire pour stabiliser la sonde. Celle-ci est en mouvement dans les tissus sous-cutanés, notamment à cause d'une inflammation au niveau des tissus lésés.

Une explication plausible du rejet de la sonde serait qu'une inflammation s'installerait à l'endroit de l'implantation. La réaction inflammatoire persistant au contact de la sonde va provoquer une nécrose des tissus sous-cutanés et cutanés, devenant purulents. Ainsi, la capsule (contenant sonde-pile ou aimant) va s'extraire de la vache. Le lieu où la capsule est éjectée peut être différent de l'endroit où ont été réalisées les sutures au moment de l'implantation. L'origine de cette inflammation n'est pas déterminée. Plusieurs hypothèses ont été émises chronologiquement : une première explication serait une origine infectieuse provoquée par une contamination du milieu extérieur lors de l'implantation. Malgré l'antibioprophylaxie et les importantes mesures hygiéniques mises en œuvre au cours des implantations, les infections demeurent. Une autre hypothèse a été émise : la biocompatibilité du matériau constituant la capsule serait remise en cause. Une bio-incompatibilité pourrait expliquer les infections, et par conséquent le rejet des sondes.

VII. AMELIORATIONS AU COURS DES EXPERINCES

Au cours des expériences, la mise au point du système New Deal® s'est heurtée à quelques problèmes qui ont été (ou seront) résolus grâce à des changements méthodologiques et technologiques.

1. Système de capteurs

Les capteurs ILS (à lames souples) ont été mis en place au début des expériences. A titre d'exemple, le capteur ILS est celui qui est utilisé dans les portes de réfrigérateurs. Cependant la faible portée du capteur nous a conduits à changer de produit avant de commencer les expériences sur le terrain.

Les capteurs de magnétisme sont désormais utilisés pour mesurer le champ magnétique. Le principe est le suivant : le champ magnétique n'agit que sur les corps aimantés indépendamment de leurs mouvements. Dans nos expériences, à partir d'un seuil de champ magnétique assez bas, l'état de la vulve est déclarée « ouvert » puisque la distance entre le capteur et les aimants est inversement proportionnel à l'intensité du champ magnétique.

2. Asepsie du matériel

Lors des premières expériences, les instruments servant à la chirurgie, ainsi que les capsules ont été nettoyés et désinfectés dans un bain de solution d'Aseptiline Instrument®.

Depuis la dernière implantation réalisée sur des vaches gestantes, la stérilisation du matériel est effectuée à l'hôpital de Carcassonne. Le système STERRAD®, stérilisateur par gaz de plasma de peroxyde d'hydrogène est utilisé pour stériliser le matériel d'implantation, ainsi que les instruments qui servent à l'opération d'implantation.

3. Instruments d'aide à l'implantation

L'utilisation d'instruments non adaptés pour introduire la sonde dans les tissus sous-cutanés vulvaires, tel que le bistouri, a rendu difficile la pose des sondes. Ainsi, le temps de pose était long d'autant plus que la technique n'était pas maîtrisée lors des premières expériences. La pose a été facilitée par la création d'un trocart dédié à cette implantation, ce qui a permis un gain de temps essentiel.

4. Matériau biocompatible

Durant toutes les expériences, le matériau utilisé pour la capsule dans laquelle se trouvent la sonde, la pile et l'aimant est du PMMA. Confronté à des taux élevés d'infection au site d'implantation, la société « Happy Foaling » a remis en cause la validité des tests de biocompatibilité réalisés au cours de l'expérience I. Ainsi, un nouveau matériau biocompatible pour remplacer l'actuel composant de la capsule a été choisi, il s'agit du PAEK. Ce matériau, est également utilisé en médecine humaine pour la réalisation de fils orthodontiques, d'implants rachidiens, de prothèses de hanche, en arthroplastie (pour les surfaces d'appui)... De plus, il permet de gagner en légèreté puisque la capsule initiale en PMMA à vide pesait 20 grammes au total, et seulement 10 grammes en PAEK.

VIII. DISCUSSION

Le matériau utilisé pour la capsule serait remis en cause : il semblerait être bio-incompatible avec les tissus sous-cutanés de la vache. Un matériau biocompatible pourrait diminuer sensiblement le taux d'infection.

La problématique de la détection des dystocies : une telle sonde serait-elle suffisamment sensible pour détecter les dystocies, notamment dans les cas où il n'y a pas de rupture de la poche des eaux, et que le veau n'a pu franchir le bassin.

CONCLUSION

La sonde de vêlage New Deal® est un projet ambitieux dans le marché des outils d'aide à la surveillance des vêlages.

Les expériences n'ont pas encore permis d'aboutir à la mise au point définitive de la sonde de vêlage New Deal®. Toutefois, grâce aux difficultés rencontrées au cours des expériences, la sonde est en constante évolution et innovation. Des expériences sont actuellement en cours afin de produire une sonde de vêlage la plus performante possible.

Le tableau suivant indique les avantages et les inconvénients de la sonde New Deal® présentement.

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">- Monitoring continu- Sonde à demeure pour toute la carrière de la vache- Sonde réutilisable- Système d'alerte de l'imminence du vêlage	<ul style="list-style-type: none">- Invasif lors de la pose- Nécessité du vétérinaire pour sa mise en place chirurgicale- Risque d'infections

Tableau 15 : Avantages et des inconvénients de la sonde New Deal ® actuellement

Des expériences sont actuellement en cours, et d'autres auront lieu prochainement. Ainsi, un test sur paillasse visant à connaître la durée de vie des batteries est actuellement en cours. De nouvelles implantations de capsules constituées de PAEK vont être entreprises.

BIBLIOGRAPHIE

1. **Jackson P.G.G.** (2004). Handbook of Veterinary Obstetrics. *2nd ed. Edinburgh : WB Saunders, 261*
2. **Mauries M., Allard Guy** (1998). Produire du lait biologique: réussir la transition, pp. 56-57
3. **Vallet A.** (1994). Vêlage les différentes étapes de la mise-bas. *Une coproduction Institut de l'Élevage – DGER, vidéo de 16min.*
4. **Youngquist R.S.** (1997). Current therapy in large Animal Theriogenology. *WB Saunders Company, 898*
5. **Austin C.R.** (1975). Sperm fertility viability and persistence in the female. *Journal of reproduction and fertility 22:75-89*
6. **Shah, K.D., Nakao, T., and Kubota, H.** (2006) Plasma estrone sulphate (E1S) and estradiol-17beta (E2beta) profiles during pregnancy and their relationship with the relaxation of sacrosciatic ligament, and prediction of calving time in Holstein-Friesian cattle. *Anim. Reprod. Sci.; 95: 38–53*
7. **Derivaux J., Ectors F.** (1980). Physiopathologie de la gestation et obstétrique vétérinaire. *Maisons-Alfort : Editions du Point Vétérinaire, 273*
8. **Gourreau J.M., Bendali F.** (2008), Maladies des bovins, *Institut de l'élevage, Editions France Agricole, 4^{ème} édition, 751*
9. **Dudouet C.** (2010). La production des bovins allaitants, *Guides France Agricole, 3^{ème} édition, 116, 126*
10. **Gourreau J.M., Bendali F.** (2008) Maladies des bovins, *Institut de l'élevage, Editions France Agricole, 4^{ème} édition, 749*
11. **Aoki, M., Kimura, K., and Suzuki, O.** (2005) Predicting time of parturition from changing vaginal temperature measured by data-logging apparatus in beef cows with twin fetuses. *Anim. Reprod. Sci. ; 86: 1–12*
12. **Birgel, E.H. Jr, Grunert, E., and Soares, J.A.** (1994) The preliminary stage of labor in cattle in relation to the clinical signs of labor and the course of progesterone secretion for the prediction of the calving time. *Dtsch. Tierarztl. Wochenschr. ; 101: 355–359*

13. **Dharhi, Ben M'rad, Moncef** (2012) Suivi de la température corporelle pour la détection du moment de la mise-bas chez la vache laitière, *Institut National d'Agronomie de Tunisie*
14. **Bar D. et Salomon R.** (2010). Ruminant collars: what can they tell us. *The first North American Conference on Precision Dairy Management.*
15. **Gatien J., Le Broc M., Philipot JM., Salvetti P.** ; Evolution des comportements dans les 12 h précédant la mise-bas et prédiction des vêlages dystociques chez des vaches Prim'Holstein ; *Renc. Rech. Ruminants*
16. **Arthur G.H., Noakes D.E., Pearson H., Parkinson T.J.** (1996). *Veterinary Reproduction and Obstetrics. 7th ed. London, WB Saunders, 726*
17. **Meijer F.** (2005). Dystocies d'origine fœtale chez la vache. *Thèse Méd. Vét., Lyon, n°094.*
18. **Derivaux J., Ectors F.** (1980). Physiopathologie de la gestation et obstétrique vétérinaire. *Maisons-Alfort : Editions du Point Vétérinaire, 273*
19. **Tavernier H.,** (1954). Guide de pratique obstétricale chez les grandes femelles domestiques, 2^{ème} édition. *Vigot Frères Editeurs.*
20. **Bellon J.** (1971). Indication respective de l'opération césarienne et de l'embryotomie dans la race charolaise. *Thèse de doctorat vétérinaire, ENVL, 47*
21. **Zaborski D., Grzisiak W., Szatkowska I., Dybus A., Muszynska M., Jedrzejczak M.** (2009). Factors affecting dystocia in cattle. *Reprod Domest Anim., 44:540-551*
22. **Mee, J.F.** (2008) Prevalence and risk factors for dystocia in dairy cattle: A review. *Vet. J. ; 176: 93–101*
23. **Meyer, C.L., Berger, B.J., and Koehler, K.J.** (2001) Phenotypic trends in incidence of stillbirth for Holsteins in the United States. *J. Dairy Sci.; 84: 515–523*
24. **Lombard, J.E., Garry, F.B., Tomlinson, S.M., and Garber, L.P.** (2007) Impacts of dystocia on health and survival of dairy calves. *J. Dairy Sci.; 90: 1751–1760*
25. **Dutil L.** (2001). Les caractéristiques d'une population : impact sur la santé en élevage vache-veau. *In Agriréseau : Bovins de boucherie. Fichier informatique html.*
26. **Patterson D. J., R. A. Bellows, P. J. Burfening, and J. B. Carr.** (1987). Occurrence of neonatal and postnatal mortality in range beef cattle. I. Calf loss

incidence from birth to weaning backward and breech presentation and effects of calf loss on subsequent pregnancy rate of dams. *Theriogenology* **28**:557.

27. **Bellows, R. A., D. J. Patterson, P. J. Burfening, and D. A. Phelps.** (1987). Occurrence of neonatal and postnatal mortality in range beef cattle. II. Factors contributing to calf death. *Theriogenology* **28**:573.
28. **Dobson H., Smith R.F., Bell G.J.C., Leonard D.M., Richards B.** (2008) Economic Costs of Difficult Calvings in the UK Dairy Herd: How Vets Can Alleviate the Negative Impact. *Cattle Pract.*, **16**(2):80-85
29. **Chanvallon et al.,** (2012). Surveillance automatisée des vêlages chez la vache laitière. *Dix-neuvièmes rencontres autour des recherches sur les ruminants. Institut de l'élevage.*
30. **Chanvallon A. et Bareille N.,** (2015). Pathologie et gestion de la reproduction de la vache. *La Dépêche technique n°138, La Dépêche vétérinaire.*
31. **Gatien et al,** (2012). Evolution des comportements dans les 12 heures précédant la mise-bas et prédiction des vêlages dystociques chez les vaches Prim'Holstein. *Dix-neuvièmes rencontres autour des recherches sur les ruminants*

ANNEXES

Annexe 1 : Flyers présentés par la société New Deal® pour le lancement de leur nouvelle sonde d'aide à la surveillance des vèlages, New Deal®





Depuis de nombreuses années, Happy Foaling est un des leaders de la surveillance équine avec ses ceintures de poulinage et ses caméras de surveillance.

Après 3 années de recherches, Happy Foaling a déposé un brevet sur un tout nouveau système d'alertes et de surveillances lors des mises bas des mammitères (1).

Avec son extrême fiabilité, tous vos vêlages seront diagnostiqués (2) et souvent prévenus dès l'apparition de la poche des eaux.

Le système a une autonomie de 5 ans sans intervention.

(1) Mammitères compatibles par le gabaris.

(2) Sauf l'atonie utérine.

C'est certainement votre vétérinaire qui vous a parlé de NEW DEAL. C'est donc très certainement lui qui sera en charge de la pose de la sonde et de son activation. Vous pouvez lui faire confiance, c'est un professionnel.

HAPPY-FOALING c'est aussi tout le nécessaire pour la surveillance équine !



Alertes téléphonique lors des vêlages.



Alertes lors de la survenue d'une température anormale.



Consultation des données sur l'état de la sonde.



WWW.HAPPY-FOALING.COM

Email : info@happy-foaling.com

Port. 06 27 24 19 48

Tél. 05 63 41 13 18

NEW DEAL



by Happy Foaling

Pour maîtriser ses
vêlages sans stress
et sans contraintes.



Un avantage d'être bien né !

Version 3.1

Annexe 2 : Page d'accueil de la plate-forme, emplacement où l'éleveur peut suivre l'évolution des paramètres mesurés sur les vaches équipées d'une sonde



LOGIN

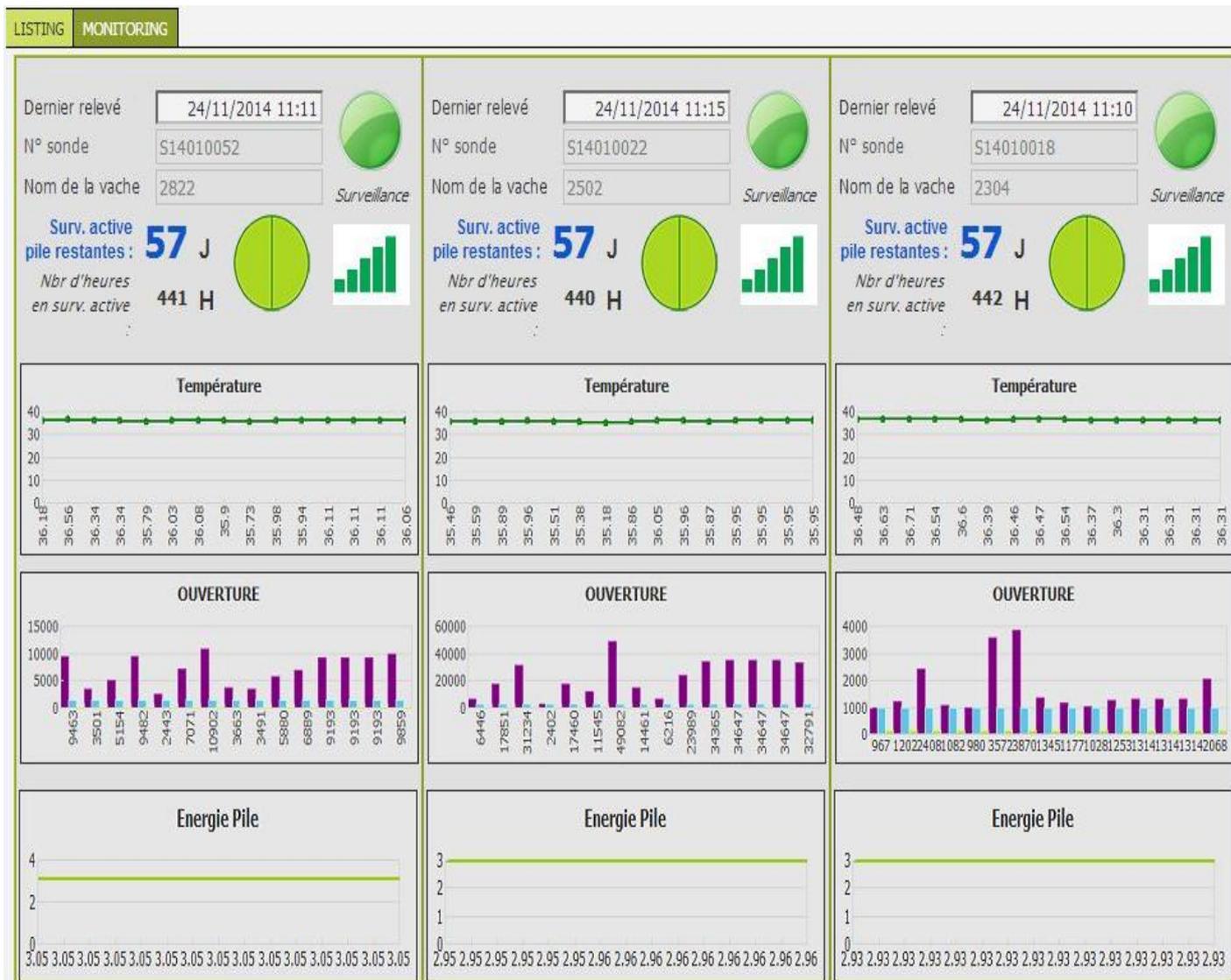
DEMO

MOT DE PASSE

demo

Login

Annexe 3 : Suivi des paramètres des vaches dont la sonde est activée, sur la plate-forme



Annexe 4 : Communiqué de presse de la société « Happy Foaling » concernant la création de leur nouvelle sonde d'aide à la surveillance des vêlages New Deal®

Contact : HAPPY FOALING Yvon CHAUME Téléphone +33.5 63 41 13 18 newdeal@happy-foaling.com www.happy-foaling.com	Guarigues Rousses 81140 Cahuzac sur Vère France	NEW DEAL
--	---	-----------------

Communiqué de presse

Après une carrière riche d'expériences, Yvon CHAUME gérant de la société HAPPY FOALING, se lance un nouveau défi, celui de développer et commercialiser NEW DEAL, un système électronique breveté destiné à suivre les différents cycles des vaches gestantes, notamment le vêlage.

Ce concept enthousiasmant, est une déclinaison innovante d'une gamme de produits dédiée à la reproduction équine.

A l'ère du tout connecté, cet outil de suivi est constitué d'une puce implantée à vie, et d'un applicatif en ligne permettant d'en suivre les relevés.

Durée de vie, coût modéré, outil de gestion en ligne simple et convivial, tout semble réuni pour que le succès commercial de NEW DEAL soit au rendez-vous.

Les nombreuses implantations test, couronnées de succès, valident le passage à l'étape de mise sur le marché de cette nouveauté qui va révolutionner le quotidien des professionnels de l'élevage, tant en période de vêlage, de détection de chaleurs, et saillie.

Pour plus d'infos, demandez le dossier de presse par retour de mail, en consultant notre site Internet happy-foaling.com, ou rendez-vous sur notre stand durant le SPACE de Rennes (15-19 Septembre - Hall1-Allée:C-Stand: C29) ou le Sommet de l'Élevage de Clermont Ferrand (1-3 Octobre - Hall2-D67).

Cahuzac-Vère (81), le 14 Août 2014

Toulouse, le 20 novembre,

PRENOM: Benjamin

NOM: ALEGRE

TITRE: Développement d'un nouvel outil d'aide à la surveillance des vêlages, New Deal ®

RÉSUMÉ:

Chez les bovins, la prévalence des dystocies varie de 3 à 22,6% chez les primipares et de 1,5 à 13,7% chez les multipares. Les premières parties bibliographiques de la thèse présentent le déroulement de la mise-bas, ses mécanismes physiologiques et les dystocies. Puis, dans un deuxième chapitre, les outils de surveillance du vêlage.

La deuxième partie est consacrée à la présentation du système New Deal ®, créé par la société Happy Foaling, un système d'alerte des vêlages fondé sur l'écartement des lèvres vulvaires et la température. Les essais cliniques réalisés dans les conditions réelles de terrain pour évaluer et mettre au point ce système sont présentés. Ces essais ont évalué: (1) l'innocuité de la sonde et en particulier la biocompatibilité des matériaux utilisés, (2) la facilité d'implantation des sondes sur des vaches multipares vides, et destinées à l'abattoir, (3) et son fonctionnement sur des vaches gravides. (4) Les avantages et les limites d'un tel système sont discutés et les améliorations qui pourraient être apportées sont proposées.

MOTS-CLÉS:

Surveillance des vêlages – bovin – température vulvaire – écartement des lèvres vulvaires – New Deal – dystocie

TITLE: Development of a new system of calving monitoring and alerts, New Deal ®

ABSTRACT:

Dystocia prevalence represents 3 to 22.6% of calving in primiparas and 1.5 to 13.7% of calving in multiparas. The bibliographic first part of the thesis explains the calving process, dystocia. Then the second chapter of the first part details tools for calving monitoring.

The second part is devoted to the New Deal ® system description. New Deal ® was created by Happy Foaling society. This system alerts farmers of the calving beginning, it is based on two parameters: the distance between the two vulval lips, and the vulval temperature.

Clinical trials were carried out in the real operating conditions, which allows to evaluate and finalize the system. They evaluate: (1) Product safety was tested, in particular biocompatibility of the materials, (2) ease of sensor's insertion into the vulva of non-pregnant cows before going to the slaughterhouse, (3) functioning of the New Deal ® system was tested on pregnant cows too. Advantages and limits of this system are discussed, and possible improvements are proposed.

KEY-WORDS:

Calving monitoring – Cattle – vulval temperature – distance between vulval lips – New Deal - Dystocia