



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's version published in: <http://oatao.univ-toulouse.fr/21311>

**To cite this version:**

Corbrion-Mouret, Loïse. *Influence du moment de l'insémination artificielle sur le taux de réussite chez la vache laitière*. Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2018, 77 p.

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository administrator: [tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr](mailto:tech-oatao@listes-diff.inp-toulouse.fr)

# INFLUENCE DU MOMENT DE L'INSEMINATION ARTIFICIELLE SUR LE TAUX DE REUSSITE CHEZ LA VACHE LAITIERE

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

*par*

**Loïse CORBRION-MOURET**  
Née, le 18 mai 1993 à COMPIEGNE (60)

---

**Directeur de thèse : Mme Sylvie CHASTANT**

---

## JURY

PRESIDENT :  
**M. Jean PARINAUD**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :  
**Mme Sylvie CHASTANT**  
**M. Xavier NOUVEL**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE  
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRES INVITES :  
**Mme Claire SABY-CHABAN**  
**Mme Amélie MUGNIER**

Docteur Vétérinaire, Responsable GDS chez ALMA / GDS 82  
Ingénieur de recherches à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE



**Ministère de l'Agriculture de l'Alimentation  
ÉCOLE 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. **PETIT Claude**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*

**PROFESSEURS 1° CLASSE**

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BERTHELOT Xavier**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootchnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- 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° CLASSE**

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*

**PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE**

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

#### **MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE**

M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*  
Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*  
M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*  
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*  
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*  
M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*  
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*  
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

#### **MAITRES DE CONFERENCES (classe normale)**

M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **BENNIS-BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*  
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*  
Mme **BOUCLAINVILLE-CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*  
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 **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*  
Mme **DEVIERS Alexandra**, *Anatomie-Imagerie*  
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*  
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*  
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*  
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*  
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*  
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*  
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 porcins*  
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*  
M. **RABOISSON Didier**, *Productions animales (ruminants)*  
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*  
Mme **WARET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

#### **ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS**

M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*  
Mme **COSTES Laura**, *Hygiène et industrie des aliments*  
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*  
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*

## REMERCIEMENTS

### **A Monsieur le Professeur Jean PARINAUD**

Professeur des Universités  
Praticien hospitalier  
*Biologie de la reproduction*

Pour avoir accepté la présidence de notre jury de Thèse, veuillez trouver ici l'expression de ma reconnaissance pour votre disponibilité,  
Hommage respectueux

### **A Madame le Professeur Sylvie CHASTANT – MAILLARD**

Professeur de l'Ecole Vétérinaire Nationale de Toulouse  
*Pathologie de la reproduction*

Pour m'avoir confié ce sujet et pour la confiance qui m'a été accordée. Pour son soutien, sa disponibilité et ses conseils dans la réalisation de ce travail.  
Mes plus sincères et respectueux remerciements

### **A Monsieur le Docteur Xavier NOUVEL**

Maître de conférences à l'Ecole Vétérinaire Nationale de Toulouse  
*Pathologie de la reproduction*

Pour avoir accepté de juger ce travail et de faire partie de notre jury de thèse.  
Sincères remerciements.

### **A Madame le Docteur Claire SABY – CHABAN**

Docteur vétérinaire  
*Responsable GDS chez ALMA / GDS 82*

Pour m'avoir soutenu dans ce travail. Pour son soutien, ses conseils et sa disponibilité.  
Sincères remerciements.

### **A Madame le Docteur Amélie MUGNIER**

Docteur vétérinaire,  
*Ingénieur de Recherches à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse*

Pour m'avoir aidé dans ce travail et pour ses conseils et sa disponibilité.  
Sincères remerciements.

**A Monsieur Edouard ALLIX**

*DeLaval France,*

Pour m'avoir permis de travailler sur les robots de traite DeLaval® ainsi que sur le système Herd Navigator®,  
Sincères remerciements,

# SOMMAIRE

<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS .....</b>	<b>9</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>11</b>
<b>PREMIÈRE PARTIE : IDENTIFICATION DE L'ŒSTRUS CHEZ LA VACHE LAITIÈRE. 15</b>	
<b>I. MODIFICATIONS COMPORTEMENTALES .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1 IDENTIFICATION DU COMPORTEMENT DE CHALEURS .....</b>	<b>17</b>
a) Détection de l'œstrus.....	17
b) Prédire le début d'œstrus et le moment de l'ovulation .....	18
c) Influence de l'intervalle de temps entre le début de l'œstrus et l'IA sur la réussite à l'IA .....	19
<b>1.2 MODIFICATION DE LA RUMINATION .....</b>	<b>20</b>
a) Données.....	20
b) Systèmes de mesure .....	21
<b>II. MODIFICATIONS GENITALES.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1 MODIFICATION DES GLAIRES VAGINALES.....</b>	<b>22</b>
a) Texture et aspect des sécrétions.....	22
b) Mesure de la résistivité vaginale.....	22
<b>2.2 MODIFICATION DE LA TEMPERATURE VAGINALE .....</b>	<b>25</b>
a) Description .....	25
b) Système de mesure.....	26
c) Alternatives à la mesure de la température vaginale .....	26
<b>III. MODIFICATIONS HORMONALES.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1 PHYSIOLOGIE DES MODIFICATIONS HORMONALES LORS DE L'ŒSTRUS .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 MESURE DE LA CONCENTRATION SANGUINE DE LH .....</b>	<b>29</b>
a) Délai entre le pic de LH et l'ovulation .....	29
b) Système de mesure.....	29
<b>3.3 MESURE DE LA CONCENTRATION EN PROGESTERONE .....</b>	<b>30</b>
a) Système de mesure.....	30
b) Délai entre la mesure de la concentration en progestérone et l'ovulation : choix du moment de l'insémination .....	31
<b>DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE.....</b>	<b>35</b>
<b>II – MATERIEL ET METHODE.....</b>	<b>37</b>
2.1. ÉLEVAGES .....	37
2.2. ANIMAUX.....	38
2.3. DETECTION DES CHALEURS .....	38
2.4. INSEMINATION .....	39
2.5. DIAGNOSTIC DE GESTATION .....	39
2.6. COLLECTE DES DONNEES.....	39
2.7. TRAITEMENT DES DONNEES ET ANALYSE STATISTIQUE .....	41
a) Analyse univariée.....	41
b) Mise en place du modèle .....	41
<b>III – RESULTATS.....</b>	<b>42</b>
3.1. ANALYSES UNIVARIEES.....	42
a) Les élevages.....	42
b) Les caractéristiques des animaux .....	43



i.	La production laitière .....	43
ii.	Délai post-partum.....	43
iii.	La parité .....	45
c)	Caractéristiques de l'alarme.....	45
i.	Valeur de la concentration en progestérone.....	45
ii.	Jour et heure de l'alarme « chaleurs » .....	46
iii.	La probabilité de réussite de l'IA annoncée par le système .....	46
d)	Caractéristique de l'insémination.....	48
i.	L'insémination par l'éleveur (IPE) ou par un centre d'insémination (CIA) .....	48
ii.	Le numéro de l'insémination .....	48
iii.	La saison de l'insémination .....	49
iv.	L'heure de l'insémination.....	50
v.	Jour de l'insémination .....	50
e)	Le délai entre l'alarme et l'insémination .....	51
3.2.	LES RESULTATS STATISTIQUES .....	52
<b>IV - DISCUSSION</b>	<b>.....</b>	<b>54</b>
3.1.	REPRESENTATIVITE DE LA POPULATION ETUDIEE.....	54
3.2.	LA REUSSITE A L'IA ET LE RESULTAT DU MODELE .....	55
3.3.	FACTEURS DE VARIATION DE LA REUSSITE DE L'INSEMINATION.....	56
3.4.	FENETRE OPTIMALE D'IA .....	61
3.5.	L'INDEX PROBABILITE DE REUSSITE DE L'INSEMINATION .....	64
<b>CONCLUSION</b>	<b>.....</b>	<b>67</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>.....</b>	<b>69</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Attribution du nombre de points par signe observé lors de l'œstrus (VanEerdenburg et al. 1996)...</i>	17
<i>Tableau 2 : Moment de l'ovulation par rapport au début des chaleurs.....</i>	19
<i>Tableau 3 : Intervalle de temps associé au taux de réussite à l'IA maximal sélectionné dans chaque étude .....</i>	19
<i>Tableau 4 : Modification de la durée de la rumination en fonction de la production laitière (Reith et al. 2014).</i>	21
<i>Tableau 5 : Variation de la résistivité vaginale en fonction du délai écoulé par rapport à l'IA et par rapport au moment de l'ovulation.....</i>	24
<i>Tableau 6 : Pourcentage de réussite en fonction de la valeur de la résistivité vaginale au moment de l'IA.....</i>	24
<i>Tableau 7 : Comparaison de la méthode de détection de l'œstrus entre un système podométrique et la mesure de la température vaginale.....</i>	26
<i>Tableau 8 : Intervalle de temps entre le pic de LH et l'ovulation .....</i>	29
<i>Tableau 9 : Intervalle entre le passage sous une valeur seuil de concentration en progestérone mesurée dans le lait ou le sang et l'ovulation (Roelofs et al. 2006b).....</i>	31
<i>Tableau 10 : Performances des élevages de l'étude.....</i>	38
<i>Tableau 11 : Liste et catégorisation des facteurs retenus susceptibles d'influencer la réussite de l'insémination .....</i>	40
<i>Tableau 12 : Résultats des analyses univariées .....</i>	42
<i>Tableau 13 : Pourcentage de réussite des inséminations en fonction de l'élevage (<math>p = 0,003</math>).....</i>	43
<i>Tableau 14 : Comparaison des performances de reproduction des élevages de l'étude avec les données obtenues en France métropolitaine .....</i>	54



## LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Mesure de l'activité (pointillés) et de la fréquence ruminale (ligne pleine) en période d'œstrus (Reith et al. 2014).....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 2 : Évolution de la conductivité vaginale par rapport au pic de LH (Fisher et al. 2008).....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 3 : Évolution de la résistivité vaginale (VER) au cours du cycle (Leidl et al.1976).....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 4 : Variation de la température par rapport au moment du pic de LH (mesure de la concentration sanguine) (Fisher et al. 2008).....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 5 : Évolution des concentrations sanguines en LH/FSH et œstradiol 17B (E2)/ progestérone (P4) au cours du temps pendant l'œstrus chez la vache (Sumiyoshi et al. 2014).....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 6 : Influence du délai entre le pic de LH (Test Predibov, ReproPharm) et l'IA sur la réussite de celle-ci (Bee 2014) .....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 7 : Répartition en France des 8 élevages de l'étude .....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 8 : Taux de réussite de l'IA en fonction de la production laitière moyenne quotidienne au cours des 7 jours précédant l'alarme .....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 9 : Répartition des cycles par rapport au nombre de jours en lactation .....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 10 : Réussite de l'IA et de l'IA1 en fonction du nombre de jours de lactation au moment du déclenchement de l'alarme .....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 11 : Distribution de la parité dans la population étudiée et son influence sur la réussite de l'IA .....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 12 : Influence de la concentration en progestérone lissée dans le lait au moment du déclenchement de l'alarme sur la réussite de l'IA .....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 13 : Réussite de l'insémination et pourcentage d'insémination en fonction du jour de l'alarme .....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 14 : Réussite de l'insémination et pourcentage d'IA en fonction de l'heure de l'alarme.....</i>	<i>46</i>
<i>Figure 15 : Influence de la probabilité de réussite de l'IA annoncée par le système sur la réussite réelle de l'IA .....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 16 : Répartition de la probabilité de réussite calculée par le système en fonction de la réussite de l'insémination .....</i>	<i>47</i>
<i>Figure 17 : Distribution de la probabilité de réussite de l'insémination annoncée par le système lors du déclenchement de l'alarme pour les inséminations non fécondantes et fécondantes.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 18 : Répartition des IA en fonction du rang.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 19 : Réussite de l'insémination en fonction du numéro de l'IA.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 20 : Distribution du rang d'IA en fonction du délai post-partum .....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 21 : Influence de la saison sur la réussite de l'insémination .....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 22 : Taux de réussite de l'insémination et proportion des IPE par rapport l'heure de réalisation .....</i>	<i>50</i>

<i>Figure 23 : Réussite de l'insémination par rapport à son jour de réalisation.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 24 : Diagramme en boîte présentant la répartition des délais entre alarme et IA.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 25 : Taux de réussite à l'IA en fonction du délai entre l'alarme et l'IA.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure 26 : Courbe ROC pour la modélisation de la réussite à l'IA.....</i>	<i>53</i>

## **LISTE DES ABREVIATIONS**

IA : Insémination artificielle

IA1 : Première insémination

VER : Vaginal electrical resistance = résistance électrique vaginale

PL : Production laitière

JPP : Jours post-partum

HN : Herd Navigator<sup>®</sup>

IV-IA1 : Intervalle vêlage – première insémination

IVV : Intervalle vêlage-vêlage

TRIA : Taux de réussite à l'insémination

TRIA1 : Taux de réussite à la première IA

P4 : Progestérone

LH : Luteinizing Hormone

CIA : Centre d'insémination

IPE : Insémination par l'éleveur

AUC : Aire sous la courbe

ROC : Receiver Operating Characteristic

GLMM : generalized linear mixed model (= modèle mixte linéaire généralisé)

VMS<sup>®</sup> : Voluntary Milking Système



## INTRODUCTION

Aujourd'hui, la fertilité des vaches et des génisses laitières apparaît quasi stabilisée, voire en légère amélioration depuis 2005 (Le Mezec et al. 2017). Cependant jusque dans les années 2000, les performances de reproduction des vaches laitières ont diminué de façon constante. Alors que le taux de fertilité (aptitude d'une vache à être fécondée lors de sa mise à la reproduction) était de 48,5 % pour des vaches de race Prim'Holstein en 1998, il n'était plus que de 42,6 % en 2004 (Roelofs et al. 2006). Une des causes de cette diminution est la corrélation génétique négative entre la productivité laitière et les caractères fonctionnels tels que la fertilité, la résistance aux mammites et la robustesse générale. Ces caractères fonctionnels sont difficiles à sélectionner de par leur héritabilité modérée et leur variabilité génétique entre les individus. Par exemple, l'héritabilité de l'expression des chaleurs est de 0,21 (Roelofs et al. 2010). La sélection orientée vers la productivité, effectuée pendant les années 90 dans la race Prim'Holstein, est rendue responsable de 35 à 40 % de la diminution de cette fertilité (Dransfield et al. 1998).

Depuis 2012, l'objectif de sélection de la race Prim'Holstein, en France, accorde un poids prépondérant aux caractères non liés directement à la production : 22 % à la fertilité et 38% pour d'autres caractères tels que la santé de la mamelle, la morphologie, la longévité, la vitesse de traite, contre 35 % pour la production qui devient donc minoritaire (Brochard et al. 2013). A l'issue de ce changement de calcul d'index, une amélioration des performances de reproduction a été observée avec un taux de réussite à la première insémination artificielle (IA) qui est passé de 38% en 2012 à 40% en 2015, en France (Le Mezec et al. 2017).

L'intervalle vêlage-vêlage (IVV) des vaches de race Prim'Holstein est aujourd'hui stabilisé à 420 jours avec un intervalle vêlage - première insémination (IV-IA1) de 100 jours stable (Le Mezec et al. 2017). Cependant, encore plus d'un quart des vaches Prim'Holstein nécessitent 3 inséminations ou plus pour obtenir une fécondation (Le Mezec et al. 2017). Les performances de reproduction des vaches laitières sont dans l'ensemble assez basses et restent un des facteurs limitant majeur des performances des élevages.

Cependant, la génétique n'est pas le seul facteur à l'origine de la détérioration des performances de reproduction. En 2016-2017, en France métropolitaine, 83 % des veaux Prim'Holstein sont issus d'insémination ([www.reproscope.fr](http://www.reproscope.fr)). Or, le recours à l'insémination nécessite une bonne détection des chaleurs et/ou de l'ovulation par l'éleveur afin de cibler le moment optimal pour inséminer (= moment pour lequel l'IA aura le plus de chance d'être fécondante). La détection des chaleurs est une activité chronophage et difficile. Mais à l'inverse de cette médiocre sensibilité, la spécificité de la détection est excellente puisque seulement 4% des inséminations sont réalisées hors œstrus (Michel et al. 2003). Les raisons pour lesquelles certaines chaleurs ne sont pas ou mal détectées sont pour 90% d'entre elles reliées à des problèmes d'organisation ou de temps passé par l'éleveur à observer les vaches. Seulement 10% sont imputables à la vache elle-même (Diskin et al. 2000). Plusieurs facteurs peuvent être responsables d'un manque d'efficacité de la détection des chaleurs.



Tout d'abord, la détection se base classiquement sur l'observation du comportement d'acceptation du chevauchement, spécifique de l'œstrus. Or, seulement 58% des vaches Prim'Holstein présentent une immobilisation lors du chevauchement (Roelofs et al. 2005). L'éleveur doit alors se baser sur des signes secondaires moins spécifiques de l'œstrus. De plus, aujourd'hui chez les vaches Prim'Holstein, la plupart des activités de monte ont lieu la nuit (70% des activités de montes s'effectuent entre 18 heures et 6 heures du matin), les chaleurs sont souvent courtes (25% des vaches se laissent monter durant moins de 7 heures) et les chevauchements ne durent parfois que 10 secondes (Lacerte et al. 2003). Toutes ces caractéristiques rendent la détection difficile pour l'éleveur si le temps consacré à l'observation n'est pas suffisant.

En effet, le premier facteur influençant la baisse de fertilité est le manque d'observation. L'agrandissement des cheptels est l'une des raisons de la diminution de ce temps d'observation. En effet, la taille des cheptels en France a augmenté depuis les années 90, avec un nombre moyen de vaches par élevage qui s'élevait à 23 vaches laitières en 1990 et qui atteint 62 pour la campagne de 2016-2017 ([www.reproscope.fr](http://www.reproscope.fr)). Il en est de même pour les troupeaux de Prim'Holstein où le nombre de vaches mises à la reproduction par élevage était de 60 pendant la campagne de 2013-2014 et est de 68 vaches pour celle de 2016-2017 ([www.reproscope.fr](http://www.reproscope.fr)). Cette augmentation entraîne une rareté de la main d'œuvre due également à une multiplication des activités (polyculture - élevage). Or, au minimum deux périodes de 20-30 minutes consacrées uniquement à l'observation sont nécessaires pour obtenir un bon taux de détection de l'œstrus, l'une ayant lieu tôt le matin et l'autre tard le soir (VanEerdenburg et al. 1996).

Les installations ne sont pas toujours adéquates et l'espace disponible n'est parfois pas suffisant pour l'expression et la détection des chaleurs. La surface du sol est primordiale : l'activité de monte est 15 fois plus importante sur terre battue que sur le béton (sol glissant) et la durée des chaleurs est diminuée de 25% (Britt et al. 2005). De même, Palmer et al. (2010) ont montré que 35% des vaches élevées en stabulation présentent des chaleurs silencieuses contre seulement 17% en pâture.

Le dernier facteur très important qui influence la manifestation des chaleurs ainsi que la réussite de l'IA, est l'état de santé de la vache et tout particulièrement les affections locomotrices. Une vache aux membres douloureux présente des difficultés à se déplacer, à chevaucher mais aussi à accepter le chevauchement. Les chaleurs sont mal détectées et l'intervalle vèlage-vèlage est souvent plus long pour ces vaches (Diskin et al. 2000).

D'autres facteurs tels que la parité, la production laitière, l'importance du déficit énergétique dans la ration, la saison ou même le nombre d'individus en chaleurs au même moment peuvent influencer l'expression des chaleurs et leur détection (Roelofs et al. 2010).

La connaissance et l'identification des signes présents lors de la période péri-ovulatoire sont indispensables à la bonne détection des chaleurs. Une fois l'œstrus mis en évidence, il faut connaître l'intervalle de temps idéal pour inséminer (= intervalle pour lequel la probabilité de réussite à l'insémination est la plus élevée) par rapport aux manifestations repérées. Certains

outils permettent de détecter l'œstrus, voire de prédire le moment de l'ovulation. Ils ont été développés pour cibler le moment de l'insémination et ainsi augmenter son taux de réussite. Après avoir présenté, à travers une synthèse de la littérature, les signes prédictifs de l'ovulation et les moyens de les détecter, seront exposés les résultats d'une étude expérimentale portant sur l'identification de la période optimale pour réaliser l'IA à la suite de la détection de l'ovulation par le dosage « in line » de la concentration en progestérogène dans le lait au sein d'élevages possédant le système Herd Navigation®.



**PREMIÈRE PARTIE : IDENTIFICATION DE L'ŒSTRUS CHEZ LA  
VACHE LAITIÈRE**



# IDENTIFICATION DE L'ŒSTRUS CHEZ LA VACHE LAITIÈRE

Au fil des années, plusieurs outils d'aide à la détection des chaleurs ont été développés afin de faciliter leur identification par l'éleveur. Dans un premier temps il est d'abord nécessaire de connaître les modifications à la fois comportementales et physiologiques observables dans la période péri-œstrale. Une fois ces modifications observées et identifiées comme étant des témoins de l'œstrus et/ou de l'ovulation, il est nécessaire de cibler le moment idéal pour inséminer par rapport à la méthode de détection choisie.

## I. MODIFICATIONS COMPORTEMENTALES

### 1.1 Identification du comportement de chaleurs

#### a) Détection de l'œstrus

Lors de l'œstrus, la vache présente un comportement dit « de chaleur ». Des comportements, plus ou moins spécifiques, sont repérés par l'éleveur et témoignent alors que la vache est en œstrus. Le comportement le plus souvent observé et assimilé à la période d'œstrus est l'immobilisation lors du chevauchement (ou le chevauchement d'une congénère). Cependant les vaches développent ou exacerbent également, lors de cette période, d'autres comportements moins spécifiques.

VanEerdenburg et al. (1996) ont mis en place un système de notation qui prend en compte différents comportements présents lors de l'œstrus. Une note est attribuée à chacune des modifications comportementales. Cette note va dépendre de la spécificité de chacune d'elles au regard de l'œstrus (Tableau 1). La somme des notes attribuées au cours d'une journée permet de déterminer si la vache est en œstrus (score supérieur à 100).

*Tableau 1 : Attribution du nombre de points par signe observé lors de l'œstrus (VanEerdenburg et al. 1996)*

Signes détectés	Points attribués
Flehmen	3
Agitation	5
Renflement de la vulve d'une congénère	10
Chevauchement des autres vaches	35
Pose du menton sur le dos d'une autre vache	15
Acceptation du chevauchement	10
Acceptation du chevauchement et immobilisation	100

Les comportements s'enchaînent au cours des chaleurs le plus souvent dans l'ordre proposé par le tableau 1. Il est parfois possible que certains comportements ne soient pas observés et que d'autres soient exacerbés. Il est difficile d'associer l'œstrus à la seule observation d'une

proximité entre les vaches (reniflement de la vulve d'une congénère, pose du menton sur le dos d'une autre), car ces comportements peuvent être présents dans d'autres situations. Hors œstrus, 87% des animaux reniflent et 46% reposent leurs mufles sur leurs congénères (VanEerdenburg et al. 1996). Le comportement de monte (chevauchement puis acceptation et immobilisation lors du chevauchement) est caractéristique du comportement d'œstrus. Cependant, l'immobilisation lors du chevauchement (signe considéré le plus spécifique avec une note de 100 points dans l'étude de VanEerdenburg et al. 1996) n'est présente que chez 58% des animaux en œstrus (Roelofs et al. 2005).

Ce système de notation permet de détecter 100% des vaches en chaleurs si l'observation est effectuée 12 fois en 24h (jour et nuit). Cependant, sur le terrain, il n'est pas possible pour l'éleveur de passer autant de temps à l'observation. C'est pour cela que la même expérimentation est réalisée avec deux périodes d'observation quotidiennes de 30 minutes, le taux de détection est de 74% (VanEerdenburg et al. 1996).

Ces comportements sont exacerbés lorsque plusieurs individus sont en œstrus. Si plus de 3-4 vaches dans le troupeau sont en chaleurs simultanément, alors le nombre de chevauchements augmente et les chaleurs sont plus visibles (Diskin et al. 2000). La parité a également une influence sur ces comportements avec une durée de manifestation des chaleurs plus longues pour les primipares mais d'intensité moindre (moins de comportements de monte) (Roelofs et al. 2005).

#### b) Prédire le début d'œstrus et le moment de l'ovulation

Le comportement de chaleurs peut être déterminé par le premier saut, par l'acceptation et l'immobilisation lors du chevauchement ou par l'augmentation d'activité. Des outils d'aide à la détection des chaleurs peuvent compléter la simple observation afin d'améliorer la mise en évidence du comportement d'œstrus : colliers, marqueurs, système Heatwatch®, podomètres... Selon le critère comportemental pris en compte, le moment du début des chaleurs varie. Plusieurs études ont mesuré l'intervalle « début d'œstrus » et ovulation en fonction du signe déterminant le début de l'œstrus (tableau 2). Le but de cette comparaison est d'observer la différence entre les intervalles en fonction du choix du début d'œstrus.

L'intervalle entre la détection de l'œstrus et l'ovulation est large et s'étend de 14 heures à 61 heures quel que soit le critère utilisé pour définir le début de l'œstrus (tableau 2). De plus, les intervalles retrouvés en fonction des différentes méthodes de détection présentent des moyennes proches et des écarts-types, compris entre 3 et 5,4 heures, qui se superposent (tableau 2). Seule, l'étude de Saumande et al. (2005) présente un intervalle large (jusqu'à 61h) et une moyenne qui diffère avec les cinq autres études. Donc peu importe la méthode de détection du début de l'œstrus, l'intervalle avec l'ovulation ne diffère pas étant donné sa largeur.

**Tableau 2 : Moment de l'ovulation par rapport au début des chaleurs**

<sup>1</sup>Système Heatwatch® <sup>2</sup>Observation faite par la méthode de VanEerdenburg et al (1996), la somme des points attribués lors d'observation consécutive doit être supérieure à 100 pour que la vache soit considérée en chaleurs (période d'observation : toutes les 3h pendant 30 minutes, <sup>3</sup>décalage par rapport au début du pic d'activité

Méthode de détection du début de l'œstrus	Étude	Moyenne (h)	Min. (h)	Max. (h)
<b>Observation<sup>2</sup></b>	Rœlofs et al. (2010)	24,7 ± 5	14	41
<b>1<sup>er</sup> saut</b>	Rœlofs et al. (2010)	28,7 ± 5,3	15	45
<b>Acceptation du chevauchement</b>	Rœlofs et al. (2010)	26,4 ± 5,2	15,5	42,5
	Walker et al. <sup>1</sup> (1997)	27,6 ± 5,4	16	40
<b>Podomètre<sup>3</sup></b>	Roelofs et al. (2006b)	29,3 ± 3,9	22	39
	Saumande et al. (2005)	38,5 ± 3	28	61

c) Influence de l'intervalle de temps entre le début de l'œstrus et l'IA sur la réussite à l'IA

Le moment exact du début des chaleurs est parfois difficile à déterminer, il reste cependant le seul point de repère de l'éleveur pour décider du moment de l'insémination. L'éleveur doit alors choisir l'intervalle optimal entre le début des chaleurs et l'insémination, pour augmenter les chances de réussite de l'IA. Certains auteurs se sont donc intéressés au pourcentage de réussite de l'IA en fonction de l'intervalle début d'œstrus – IA, selon le mode de détection de l'œstrus (tableau 3).

Dans chaque étude, plusieurs intervalles ont été testés. Seuls les intervalles pour lesquels le pourcentage de réussite à l'IA est le plus important a été reporté dans le tableau 3.

**Tableau 3 : Intervalle de temps associé au taux de réussite à l'IA maximal sélectionné dans chaque étude**

Chaque étude compare la réussite de l'insémination en fonction de l'intervalle entre le début de l'œstrus (déterminé par différentes méthodes) et l'IA. Seuls les intervalles de temps pour lesquels la réussite de l'IA est maximale ont été répertoriés dans ce tableau <sup>1</sup>Rescouter II®, Westfalia-Surge, Bonen, Germany, <sup>2</sup>HeatWatch®, DDx Incorporated, Denver, CO).

Références	Méthode de détection	Intervalle de temps entre le début de l'œstrus et l'insémination	Réussite de l'IA
<b>Rœlofs et al (2010)</b>	Podomètre	11 – 16h	85,7 %
<b>Hemmi et al (2013)</b>	Podomètre	0 - 12h	66,7 %
<b>Maatje et al (1997)</b>	Podomètre	6 – 17h	80 %
<b>Martinez et al (2004)</b>	Observation	8 -18h	66,2 %
<b>Bayril et al (2016)</b>	Observation + podomètre	7-12h	65,7%
<b>Hockey et al (2010)</b>	Activité mètre <sup>1</sup>	24 – 40h	68%
<b>Dalton et al (2001)</b>	Acceptation du chevauchement <sup>2</sup>	12h – 24h	74 % - 82 %
<b>Dransfield et al (1998)</b>	Acceptation du chevauchement <sup>2</sup>	4 – 12h	50%

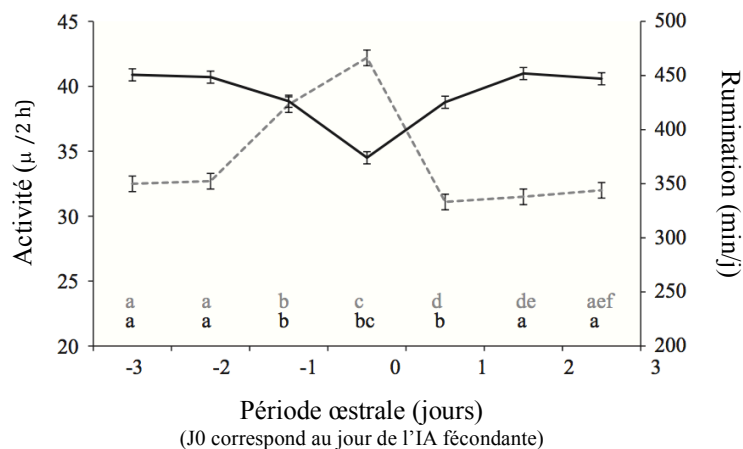


La réussite de l'insémination est au maximum lorsqu'elle est réalisée le plus souvent entre 6 et 24 heures après la détection de l'œstrus. La méthode de détection du début de l'œstrus n'influence pas cet intervalle. Seules deux études sur huit présentent des intervalles un peu plus éloignés des autres : l'étude de Hemmi et al. 2013, pour laquelle la réussite de l'insémination est optimale si elle est réalisée entre 0 et 12 heures après la détection de l'œstrus et l'étude de Hockey et al. (2010), où cet intervalle s'étend jusque 40 heures après le début de l'œstrus.

## 1.2 Modification de la rumination

### a) Données

La fréquence de rumination est évaluée par le temps quotidien que passe la vache à ruminer (en minutes par jour). Elle est utilisée dans les élevages laitiers pour diagnostiquer précocement les troubles métaboliques. Au moment des chaleurs, cette fréquence diminue. Sa mesure peut servir d'indicateur pour la détection de l'ovulation (Reith et al. 2012 et 2014, Dolecheck et al. 2015). En effet, une diminution moyenne de 10 min/h en période d'œstrus est observée par rapport à la fréquence ruminale en dehors (Dolecheck et al. 2015). De même, Reith et al. (2012) ont observé qu'en moyenne une vache passe 429 min/j à ruminer alors qu'en période d'œstrus elle y consacre seulement 355min/j. Ils ont montré que le temps passé à ruminer atteint son nadir au moment où l'activité est à son maximum (Figure 1).



*Figure 1 : Mesure de l'activité (pointillés) et de la fréquence ruminale (ligne pleine) en période d'œstrus (Reith et al. 2014)*

La modification de la fréquence ruminale au moment de l'œstrus est assez variable. Même si en moyenne ce temps diminue de 18% lors de l'œstrus, quelques rares individus peuvent présenter une augmentation. En effet, par rapport à la fréquence ruminale hors œstrus, celle mesurée pendant varie de -71 minutes à +16 minutes (Reith et al. 2014). Si la mesure de la rumination est utilisée pour détecter l'œstrus, il est nécessaire de l'associer à un autre moyen de détection pour éviter les faux négatifs. Lorsque la fréquence de la rumination et l'augmentation d'activité sont mesurées simultanément, 93,7% des vaches en œstrus sont détectées (Reith et al. 2014).

Ce système permet d'améliorer la détection des vaches aux chaleurs silencieuses (moins de comportements spécifiques et une augmentation de l'activité moins importante en période d'œstrus, Reith et al. 2014). Les vaches hautes productrices (production laitière supérieure à 40 kg de lait par jour) présente plus fréquemment ce type de chaleurs. Ces dernières sont parfois difficilement détectables par observation ou par l'alarme du podomètre alors qu'elles le sont par la mesure de la fréquence ruminale (Reith et al. 2014). En effet, le différentiel de la fréquence, en œstrus et en dehors, est plus important pour les vaches hautes productrices par rapport aux vaches à plus faible production (Reith et al. 2014, Tableau 4).

*Tableau 4 : Modification de la durée de la rumination en fonction de la production laitière (Reith et al. 2014)  
La p-value n'a pas été fournie dans cette étude*

<b>Production laitière</b>	<b>&gt;40 kg/jour</b>	<b>&lt;35 kg/jour</b>
Rumination hors œstrus (min/j)	445,8 ± 17,8	407,3 ± 16,5
Rumination en œstrus (min/j)	395,5 ± 17,8	337,1 ± 16,4
<b>Différentiel</b>	<b>50,3 min</b>	<b>70,2 min</b>

A l'inverse du temps de rumination, le temps passé à l'auge n'est pas utilisable pour détecter les chaleurs car selon les études il augmente (Dolecheck et al. 2015) ou il diminue (Diskin et al. 2000) au moment des chaleurs et n'est donc pas à relier avec la fréquence de rumination.

#### b) Systèmes de mesure

Deux systèmes permettent de mesurer la rumination. Le premier (Lely Qwes-HR® fournisseur ; HR-Tag, DVM Systems LLC) mesure la fréquence de rumination grâce à un microphone accroché à un collier. Le rythme de mastication et l'intervalle entre les régurgitations sont alors mesurés et inclus dans un algorithme qui détermine le nombre de minutes consacré à la rumination dans une journée. Ce collier est également équipé d'un accéléromètre qui mesure l'activité. Le second système (CowManager SensOor®, Agis Automatisering) se présente sous forme de boucle auriculaire. Ce système est capable d'identifier les mouvements des oreilles qu'il relie à la rumination selon un algorithme inconnu (Dolecheck et al. 2015). Cet outil mesure l'activité, le temps passé à l'auge et la température (à la surface de la peau). Dolecheck et al. (2015) ont trouvé une sensibilité de 91% à 100% que ce soit pour le HRTag ou le SensOor sachant que ces deux outils associent la mesure de la rumination à l'activité.

Les mesures du temps de rumination ont tout d'abord été utilisées pour déterminer l'état de santé de l'animal. Les données concernant l'œstrus et en particulier les intervalles de temps entre l'ovulation et la diminution de rumination sont assez rares. Le pic de diminution de rumination intervient au moment du pic d'activité (Reith et al. 2014, Saint Dizier et al. 2018, figure 1). Le délai début d'œstrus – IA, détecté par la mesure de la fréquence ruminale, est alors similaire à celui obtenu lorsque le début des chaleurs est déterminé avec un podomètre. L'insémination devrait alors avoir lieu idéalement 0 à 17 heures après la chute du rythme de rumination (Maatje et al. 1997, Hemni et al. 2013, Reith et al. 2014).

## II. MODIFICATIONS GENITALES

### 2.7. Modification des glaires vaginales

Au moment de l'œstrus, l'augmentation de la concentration circulante en œstrogènes entraîne une vasodilatation vaginale et une augmentation de la concentration en NaCl du mucus vaginal (Ahmed et al. 2018). Le volume du mucus augmente et sa composition ionique ainsi que son aspect sont modifiés (Doucet 2004, Ahmed et al. 2018).

#### a) Texture et aspect des sécrétions

Les glaires vaginales sont abondantes, fluides et claires pendant la période d'œstrus et collantes et produites en moindre quantité en dehors (Roelofs et al. 2010). Les premiers écoulements peuvent être un signal pour annoncer les chaleurs car ils apparaissent en moyenne 20 heures avant les signes comportementaux (Lopez-Gatius et al. 1997). Les glandes cervicales vont produire un mucus plus aqueux, translucide et moins visqueux 8 à 12 heures après le début de l'œstrus, ce qui facilite la pénétration des spermatozoïdes (techniques et critères de détermination du début de l'œstrus non précisés dans l'étude, Rutllant et al. 2005). C'est à ce moment de fluidité maximale des glaires que l'insémination doit être réalisée (Lopez-Gatius et al. 1997). En effet, sur 116 inséminations dans l'étude de Roelofs et al. (2006b), le pourcentage de réussite s'élève à 96 % lorsque du mucus « eau de roche » est présent contre 67 % de réussite lorsque celui-ci est absent.

La présence de sang dans les écoulements annonce la fin de l'œstrus. Même si l'insémination peut être fécondante à ce stade elle aura plus de chance de l'être si elle est réalisée plus précocement : le pourcentage de réussite de l'insémination est de 37,3% lorsque les glaires sont translucides et 22,2% lorsque les glaires sont sanguinolentes (Lopez-Gatius et al. 2011).

#### b) Mesure de la résistivité vaginale

Les modifications décrites ci-dessous sont à l'origine d'une augmentation de la conductivité électrique vaginale (Patil et al. 2011). Plusieurs études montrent que le pic de conductivité coïncide avec le pic de LH (Leidl et al. 1976, Fisher et al. 2008, Ahmed et al. 2018 - figure 2).

C'est généralement la résistivité électrique vaginale qui est mesurée (VER). Elle se définit par l'inverse de la conductivité. Une diminution de la VER est alors observée au moment de l'œstrus. En réalité, la valeur de la résistivité vaginale augmente au cours de la phase lutéale et diminue pendant la phase folliculaire chez la vache (figure 3). Cette modification s'observe pour les vaches comme pour les génisses (Patil et al. 2011).

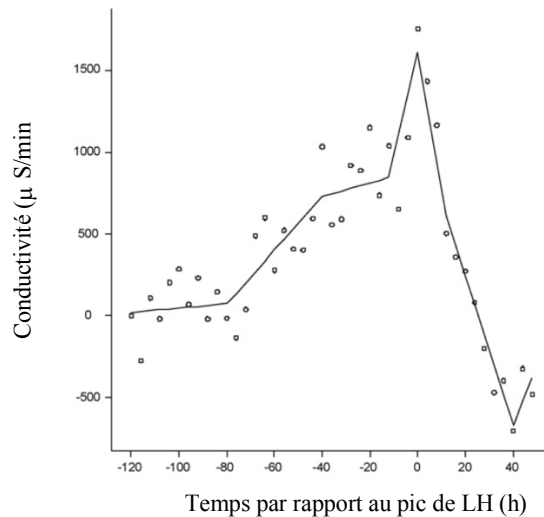


Figure 2 : Évolution de la conductivité vaginale par rapport au pic de LH (Fisher et al. 2008)  
Moyenne sur 12 cycles, T0 = pic de LH

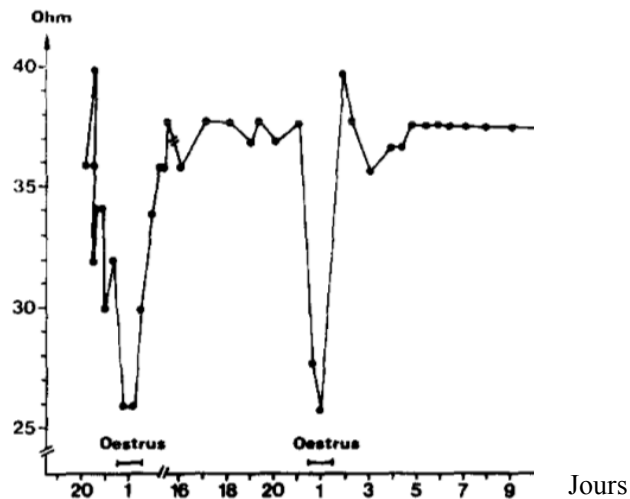


Figure 3 : Évolution de la résistivité vaginale (VER) au cours du cycle (Leidl et al.1976)

Tant que l'ovulation n'a pas eu lieu, la résistance électrique vaginale reste basse (Leidl et al. 1976, Gupta et al. 2000). En revanche, après l'ovulation, la VER augmente de façon significative (tableau 5). L'insémination doit donc avoir lieu lors de la diminution de la VER. Si l'insémination a lieu en phase d'augmentation, l'ovulation aura déjà eu lieu et le taux de réussite à l'IA diminue. Par ailleurs, Hockey et al. (2006) montrent que la valeur la plus basse de la résistance vaginale se trouve généralement à 18 heures avant l'ovulation. Le moment de l'insémination par rapport à la détection peut alors être connu.

La chute de la résistivité vaginale aide à déterminer le moment de l'ovulation : le passage d'une valeur basse de la résistivité à une valeur haute confirme que l'ovulation a eu lieu (tableau 5).

**Tableau 5 : Variation de la résistivité vaginale en fonction du délai écoulé par rapport à l'IA et par rapport au moment de l'ovulation**

VER = Résistance électrique vaginale / IA = Insémination artificielle, <sup>a-b</sup> p<0,01 différence significative entre la VER pré-ovulation et la VER post ovulation, Trait vert : Moment de l'ovulation, <sup>1</sup>Leidl et al. 1976, <sup>2</sup>Guptaa et al. 2000

Etude	Mesure de la VER ( $\Omega$ ) par rapport à l'IA		
	Moment de l'IA	24h post IA	48h post IA
Leidle et al. (1976) (n=145)	31,9 $\pm$ 6,3 <sup>a</sup>	41,5 $\pm$ 7,7 <sup>b</sup>	/
Guptaa et al. (2000) (n=90)	32,8 $\pm$ 1,20 <sup>a</sup>	41,5 $\pm$ 1,38 <sup>b</sup>	45 $\pm$ 2,07
Leidle et al. (1976) (n=28)	32,9 $\pm$ 7,9	30,1 $\pm$ 6,3 <sup>a</sup>	40,5 $\pm$ 7,5 <sup>b</sup>

Outre la cinétique de la VER, sa valeur absolue est également informative. En effet, plus la valeur de la résistivité est basse plus la vache est fertile (Leidl et al. 1976, Patil et al. 2011, Ahmed et al. 2018) (tableau 6). Cette valeur est utile pour établir un pronostic dans la réussite des inséminations.

**Tableau 6 : Pourcentage de réussite en fonction de la valeur de la résistivité vaginale au moment de l'IA**

VER = Résistance électrique vaginale / IA = Insémination artificielle

VER (ohm)	Réussite de l'IA (%)	
	Patil et al. (2011)	Leidl et al. (1967)
26 – 30 $\Omega$	81,5 %	78%
31 -35 $\Omega$	59,0 %	52%
36 – 40 $\Omega$	16,7 %	30%

Même si certaines études montrent que la mesure de la résistivité vaginale a un intérêt majeur dans la prédiction de l'œstrus et du pic de LH (Leidl et al. 1976, Patil et al. 2011, Ahmed et al. 2018), d'autres restent perplexes sur son utilité (Fisher et al. 2008, Sumiyoshi et al. 2014). En effet, dans leurs études, les mesures de conductivité ne permettent pas de prédire l'œstrus du fait de la variation trop importante des valeurs entre individus mais également au sein d'un même individu (sur différents cycles). Plusieurs facteurs font varier la résistance : la présence de mucus, la position de la sonde, les infections et les inflammations vaginales et utérines (Leidl et al. 1976, Gupta et al. 2000, Bouchard et al. 2012). De même, la détermination de la valeur la plus basse est assez difficile étant donné ses variations. Tant que la VER ne passe pas en phase d'augmentation, il est difficile de savoir quand elle est au plus bas.

Lors des études expérimentales la sonde est placée en continu dans le vagin du début de l'œstrus jusqu'à l'ovulation, mis en évidence par l'augmentation de la VER (Leidl et al. 1976, Fisher et al. 2008). Ainsi, toute la cinétique de la résistivité vaginale est enregistrée et le moment de l'ovulation est détecté. Cependant, cette méthode peut être à l'origine d'inflammation de la muqueuse vaginale et donc de modifications des valeurs (Bouchard et al. 2012). De plus, il semble assez difficile de laisser une sonde en place sur le terrain.

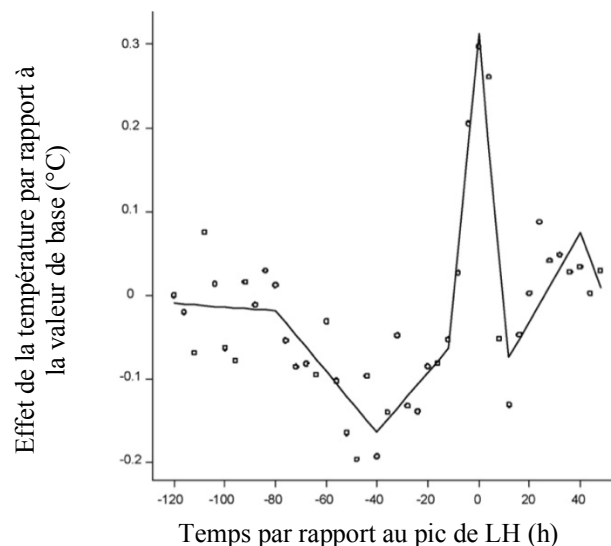
Des sondes qui mesurent la résistance électrique vaginale, utilisable dans des conditions d'élevage, ont été développées (Déecteur de chaleur vache et jument, Draminski®, Pologne, 360 € ou Ovatec, Electronic Animal Management Inc., Corfu, Etats-Unis, 2000€). Les mesures de résistance débutent quelques jours avant le moment attendu de l'œstrus et sont effectuées jusqu'à l'obtention d'une valeur d'impédance minimale, moment conseillé pour l'insémination. Les mesures, réalisées deux fois par jour, en plus du risque d'inflammation vaginale représentent un investissement en temps pour l'éleveur. Ces limites conduisent actuellement au développement de capteurs qui s'implantent dans la muqueuse vestibulaire et mesurent en continu la résistivité vaginale (Bouchard et al. 2012).

La sensibilité de la détection des chaleurs avec cette méthode est de 65 à 82% (Bouchard et al. 2012). Selon Gupta et al. (2000), cette technique permet de détecter 36,6% des individus en plus par rapport à une méthode classique de détection des chaleurs par observation.

## 2.2. Modification de la température vaginale

### a) Description

La température vaginale diminue avant l'œstrus puis augmente de 0,6 °C au moment de l'œstrus ( $\pm 3^\circ\text{C}$ , par rapport au niveau de base lors de la phase lutéale). Elle reste élevée au minimum à plus de 0,3°C pendant  $6,8 \pm 4,6$  heures (Redden et al. 1993, Sakatani et al. 2016). Le pic d'augmentation coïncide avec le pic de LH (figure 4). Certaines études associent ces variations à l'augmentation d'activités pendant l'œstrus alors que d'autres les mettent en relation directe avec les sécrétions hormonales : diminution de la concentration en progestérone et/ou le pic de LH (Fisher et al. 2008, Sakatani et al. 2016).



*Figure 4 : Variation de la température par rapport au moment du pic de LH (Fisher et al. 2008)*

*Mesure de la concentration sanguine de LH, la valeur 0 sur l'axe des abscisses correspond au moment du pic de LH*

Sakatani et al. (2008), ont montré que la diminution de la température à la fin de la phase lutéale suit la diminution de la concentration en progestérone. En effet, l'injection de cloprostenol (analogue de la prostaglandine F2alpha) en présence d'un corps jaune entraîne une diminution

de la concentration en progestérone ainsi qu'une diminution de la température jusqu'à ce que survienne l'œstrus (Sakatani et al. 2008). Donc la mesure de la température vaginale est le reflet de l'activité ovarienne car directement en relation avec les modifications hormonales (progestérone et pic de LH).

#### b) Système de mesure

La mesure de la température vaginale permet de déterminer le moment du pic de LH ainsi que l'ovulation. Le moment de l'insémination peut être ciblé afin de maximiser sa probabilité de réussite.

Ni la variation de température extérieure ni le mode de stabulation (entravée ou libre) n'ont d'influence sur la modification de la température vaginale. En effet, si cette méthode est comparée à la détection des chaleurs par l'utilisation de podomètre, on remarque que sa sensibilité est bien meilleure et qu'elle n'est pas influencée par la saison (tableau 7). La modification de la température vaginale est également visible chez les vaches à chaleurs silencieuses (Sakatani et al. 2016).

Cette méthode semble intéressante pour détecter l'ovulation lorsque la méthode de détection par le podomètre n'est pas efficace, notamment pour les pays qui font face à de fortes températures inhibant le comportement de chaleurs ou alors pour les vaches ayant une forte production laitière qui présentent généralement une augmentation d'activité limitée.

*Tableau 7 : Comparaison de la méthode de détection de l'œstrus entre un système podométrique et la mesure de la température vaginale*

<sup>a-b</sup>  $p < 0,05$  avec un test du Chi2 / <sup>a-c</sup>  $p < 0,01$  avec un test du Chi2 / <sup>1</sup> Mesure de la température toutes les heures avec une sonde posée dans le vagin. La détection de l'œstrus était confirmée par observation du comportement de chaleur et la disparition du corps jaune déterminée par échographie / <sup>2</sup> Mesure de la température avec une sonde laissée en place, confirmation de l'œstrus par mesure de la concentration en progestérone

	Sakatani et al (2016) <sup>1</sup>			Redden et al (1993) <sup>2</sup>
	Hiver (n=23)	Été (n=24)	Total (n=47)	
Podomètre	81,8 % <sup>a</sup>	65,2 % <sup>a</sup>	73,3 % <sup>a</sup>	66%
Température vaginale	100 % <sup>b</sup>	91,7 % <sup>b</sup>	95,7 % <sup>c</sup>	81%

Fisher et al. (2008) ont montré qu'avec cette méthode, la survenue du pic de LH peut être prédite à 6 heures près pour 19 vaches sur 21. Elle cible donc le moment de l'insémination en connaissant les délais entre l'IA et le pic de LH favorisant une meilleure fertilité (paragraphe 3.2.). Le moment de l'insémination peut être déterminé avec cette méthode.

#### c) Alternatives à la mesure de la température vaginale

Néanmoins, cette méthode a des limites. Il paraît assez difficile de laisser un thermomètre vaginal en place à long terme, ce qui reviendrait aux mêmes problèmes causés par une sonde mesurant la résistivité vaginale (irritation, infection...).

Il existe des alternatives à cette méthode. Le capteur de température accroché par le biais d'une boucle auriculaire (CowManager SensOor®, Agis Automatisering, Pays-Bas) mesure la température à la surface de l'oreille (contact avec la peau). L'augmentation observée lors des chaleurs est de +1,20 °C (Dolecheck et al. 2015). Cependant cette mesure ne semble pas être un bon indicateur de l'œstrus car la p-value entre les mesures en œstrus et celles en dehors est de 0,20 (Dolecheck et al. 2015). En effet, selon le fabricant (CowManager) l'utilisation de cette valeur sert avant tout d'indicateur de bonne santé et non d'un détecteur de chaleurs.

Des thermocapteurs ruminiaux (DVM bolus, SmaXtec®, 492 € le capteur) sont également en vente. Avec ce système, la température augmente de +0,43°C pendant l'œstrus (avec  $p < 0,01$  entre l'œstrus et en dehors, Dolecheck et al. 2015). Les mesures sont prises toutes les 10 minutes et les données sont transmises par ondes radios à un capteur dans un périmètre de 5 à 10 mètres. Or le pic de température ne dure que 6-8 heures en moyenne (Redden et al. 1993, Sakatani et al. 2016). La vache doit alors passer régulièrement proche d'un capteur pour que la valeur de la température soit enregistrée. Le nombre de capteurs dans le bâtiment peut être multiplié afin de garantir la transmission des données, mais cela ajoute un coût (800 € HT en plus du prix du lecteur fixe 25 000 € HT). De plus, ce système a une durée de vie de 50 à 60 jours et reste à vie dans le rumen.

Les modifications comportementales ont tout d'abord été les premiers signes utilisés pour détecter l'œstrus. Cependant cette méthode nécessite un investissement important en temps pour avoir une bonne détection. Des techniques sont développées pour aider l'éleveur à identifier les chaleurs. Ils se basent sur les modifications physiologiques : la rumination, la température, la présence de glaires vaginales (associée à la mesure de la résistivité vaginale). Plusieurs méthodes sont parfois associées pour augmenter la sensibilité de la détection de l'œstrus. Des modifications hormonales ont également lieu lors de l'ovulation, la mesure de la concentration de ces hormones (progestérone ou LH) pourrait permettre de cibler le moment de l'ovulation.

### **III. MODIFICATIONS HORMONALES**

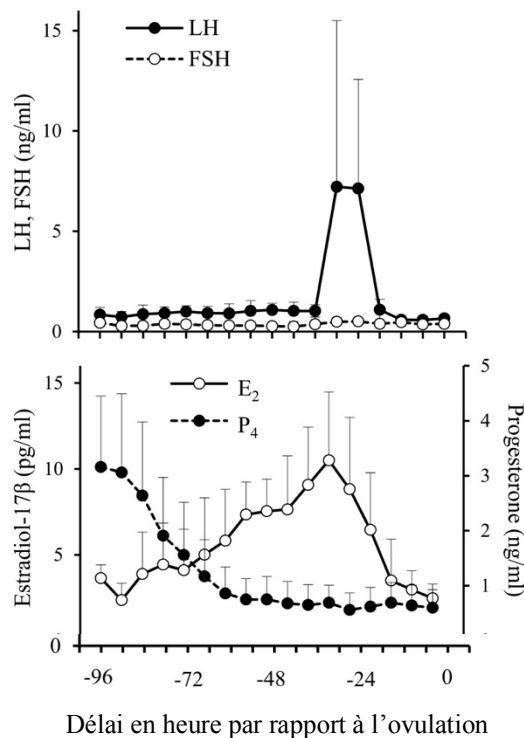
Tous les individus en œstrus ne présentent pas de manifestations comportementales bien visibles. Dans l'étude de Endo et al. (2012), 20% des vaches en chaleurs n'expriment pas de comportements d'œstrus, on parle de chaleurs silencieuses. De plus, les manifestations des chaleurs sont parfois frustes ou alors nocturnes ce qui rend difficile leur mise en évidence. La détection des modifications hormonales ou physiologiques plutôt que l'identification du comportement d'œstrus permet de pallier ce problème.



### 3.1. Physiologie des modifications hormonales lors de l'œstrus

Au moment de l'œstrus, les concentrations d'hormones ovariennes - l'œstradiol (produit par le follicule) et la progestérone (sécritée par le corps jaune) - subissent des variations importantes. Il en est de même pour les hormones hypophysaires – FSH (*Follicle Stimulating Hormone*) et LH (*Luteinizing Hormone*).

L'initiation de la lutéolyse débute entre le 16<sup>ème</sup> et le 17<sup>ème</sup> jour du cycle, la concentration de progestérone circulante diminue progressivement jusqu'à atteindre un niveau inférieur à 1 ng/ml avant l'ovulation (figure 5). L'ovulation a lieu  $4,6 \pm 0,5$  jours après l'initiation de la lutéolyse (Endo et al. 2012b).



*Figure 5 : Évolution des concentrations sanguines en LH/FSH et œstradiol 17β (E2)/ progestérone (P4) au cours du temps pendant l'œstrus chez la vache (Sumiyoshi et al. 2014)*

Cette chute de la progestéronémie supprime le rétrocontrôle négatif de cette hormone sur la libération de LH. Parallèlement, le follicule dominant finit sa croissance et continue de produire de l'œstradiol 17β (Vailes et al. 1992).

Le pic d'œstradiol 17β apparaît environ 3 jours après le début de la lutéolyse. Ce pic est à l'origine du changement de comportement de la vache et de la production de LH par l'hypophyse. Le début du pic de LH intervient entre 4 à 6 heures après le pic d'œstradiol. Il dure en moyenne  $9,5 \pm 1$  heures (de 7,5 à 11 heures) et sa hauteur est très variable (de 6 ng/ml à plus de 20 ng/ml avec une moyenne à 10 ng/ml) (Bernard et al. 1984 - figure 5).

### 3.2. Mesure de la concentration sanguine de LH

#### a) Délai entre le pic de LH et l'ovulation

L'intervalle entre le début des chaleurs et l'ovulation est assez large et s'étend de 14 à 61 heures avec une moyenne souvent obtenue à plus ou moins 5 heures (Partie 1). Or l'intervalle de temps entre le pic de LH et l'ovulation a une variabilité plus faible, de l'ordre de 0,5 à 1,6 heures (tableau 8). En effet, la variabilité de l'intervalle entre le début de l'œstrus et l'ovulation trouve son origine à plus de 80% dans le délai inconstant entre le début des chaleurs et le pic de LH (Saumande et al. 2005). Il est alors intéressant de déterminer le pic de LH afin d'en déduire le moment de l'ovulation.

Le pic de LH a lieu en moyenne à 27,5 heures avant l'ovulation (tableau 8), avec des écarts-types n'excédant jamais 2 heures : l'intervalle pic de LH – ovulation est assez stable.

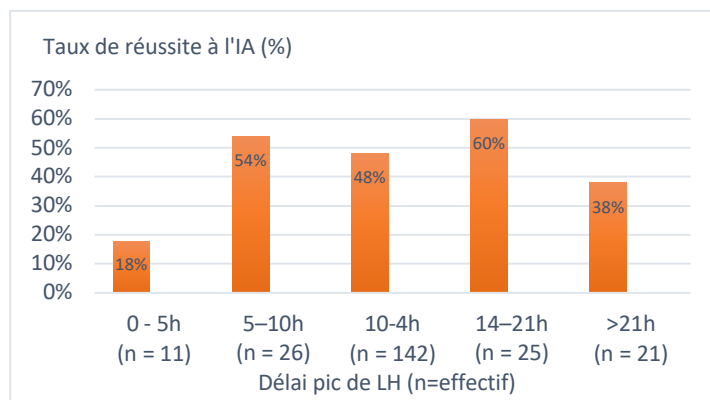
*Tableau 8 : Intervalle de temps entre le pic de LH et l'ovulation*

Études	Effectif	Intervalle pic LH – ovulation (h) (Moyenne ± écart-type)	Min. (h)	Max. (h)
Bernard et al. (1984)	25 (cycles)	27,3 ± 1,6	19,3	25
Bloch et al. (2006)	74 (vaches)	25,5 ± 0,5	/	/
Endo et al. (2012)	10 (vaches)	27	/	/
Rœlofs et al. (2005)	94 (vaches)	25,3 ± 0,6	21,5	27,5
Saumande et Humblot (2005)	12 (vaches)	29,4 ± 1,53	24	41

#### b) Système de mesure

Le dosage de LH sur le terrain est réalisable avec quelques gouttes de sang en 45 minutes (Predi'bov, Repropharm, Nouzilly). Selon le fabricant, l'insémination doit être effectuée 10 heures après l'obtention d'un test positif. En moyenne, si l'insémination est réalisée entre 5 et 21 heures après l'obtention d'un test LH positif, le taux de réussite à l'insémination s'élève à 54 % (Bee 2014). De plus, les meilleurs taux de réussite à l'IA sont obtenus pour une IA réalisée entre 14 et 21 heures après l'obtention d'un test positif (figure 6, pas de p-value connue). En effet, jusqu'à 21 heures après le test les taux de gestation restent bons (60% de réussite, Bee 2014 - figure 6).

Cependant, pour obtenir un bon taux de réussite à l'IA, le prélèvement doit être effectué au bon moment, c'est-à-dire au moment du pic de LH. Ceci présente une difficulté dans l'utilisation de ce test : le moment du pic est parfois difficile à déceler, puisque celui-ci ne dure qu'en moyenne 9 heures. Tant que le test n'est pas positif, les prélèvements doivent être faits avec un intervalle maximal de 6 à 8 heures pour ne pas manquer le pic de LH (Bee 2014). Une autre étude propose de réaliser des prélèvements toutes les 2 à 4 heures afin d'être sûr d'identifier le moment du pic (Bernard et al. 1984).



*Figure 6 : Influence du délai entre le pic de LH (Test Predibov, ReproPharm) et l'IA sur la réussite de celle-ci (Bee 2014)*

*Le diagnostic de gestation est effectué par échographie à 35 jours post IA minimum, le chiffre au-dessus des barres correspond au TRIA*

Le moment à partir duquel doit être réalisé ce test est encore vague. Le premier prélèvement peut être réalisé lors de la détection du début de l'œstrus (Bee 2014), ce qui ne permet donc pas de s'affranchir de l'observation des chaleurs. De plus, le début du pic a lieu parfois avant même que les premiers signes de chaleur n'apparaissent : 2 cas sur 12 dans l'étude de Bernard et al. (1984), un à 3 heures puis un autre à 8 heures avant même l'identification du début de l'œstrus.

De plus, le test est assez lourd à réaliser pour l'éleveur : prises de sang répétées et protocole long (45 minutes), donc difficilement faisable sur tout un cheptel sachant qu'en cas de test négatif il faut idéalement refaire le test 6 heures plus tard. Le prix est de 20 € par test, il est économiquement impensable de réaliser le test sur tous les individus de l'élevage pour chaque cycle. Cependant il pourrait être utilisé sur certains individus pour lesquels la réussite à l'IA est faible de façon à mieux cibler le moment de l'insémination, en cas de retours en chaleurs fréquents par exemple. Il est également possible de l'utiliser lors de transfert d'embryon, particulièrement chez les donneuses.

### 3.3. Mesure de la concentration en progestérone

#### a) Système de mesure

La mesure de la concentration en progestérone (dans le sang ou dans le lait) détermine le moment de la lutéolyse, point de référence pour détecter ensuite le moment du pic de LH, voire le moment de l'ovulation (Wiltbank et al. 2014).

Il existe une corrélation entre les résultats obtenus dans le sang et dans le lait (Roelofs et al. 2006b). La collecte d'échantillons de lait étant plus simple et moins invasive que celle d'échantillons de sang, la concentration en progestérone est généralement mesurée dans le lait.

Un dosage ELISA automatisé sur des échantillons de lait détecte les vaches en œstrus lorsque la concentration en progestérone passe sous une valeur seuil. Des études antérieures à 2008 (Friggens et al. 2005) ont tout d'abord pris la valeur seuil de 3 ng/ml qui s'est avérée être trop basse : certaines vaches en œstrus présentaient une concentration en progestérone supérieure à

ce seuil. Friggens et al (2008) ont alors comparé le pourcentage d'œstrus détectés en fonction des valeurs seuils choisies pour la mesure de concentration en progestérone dans le lait. Lorsque ce seuil est de 4 ng/ml, le pourcentage d'œstrus détectés est de 85,6% contre 99,2% pour un seuil de 6 ng/ml (l'ovulation était confirmée par échographie). Ceci montre bien que le choix d'un seuil trop bas est à l'origine de la diminution de la sensibilité du test. Cependant, si le seuil est trop haut la spécificité de ce test diminue car certains individus seront détectés comme étant en œstrus alors qu'ils ne le sont pas (faux positifs). Le choix de la valeur seuil doit être étudié dans le but de maximiser la sensibilité et la spécificité du système. En pratique, le seuil retenu par le système Herd Navigator® de DeLaval® est de 5 ng/ml.

La mesure de la concentration en progestérone dans le lait pour détecter l'ovulation se révèle être l'une des méthodes les plus efficaces avec une sensibilité de 95% pour le système Herd Navigator® (seuil à 5 ng/ml, Asmussen 2010). L'avantage majeur de ce système est de pouvoir détecter les vaches aux chaleurs silencieuses. Par comparaison, la sensibilité d'une observation à deux périodes de 30 minutes par jour et tous les jours est de 74% dans l'étude de VanEerdenburg et al. (1996) et n'est que de 59% pour une observation de trois fois 30 minutes par jour dans l'étude de Palmer et al. (2010, observation des chaleurs sur des vaches en pâture). Cette dernière est en moyenne à 52% pour un système mesurant l'activité (Michaelis et al. 2014).

Ce système peut à la fois être installé sur des robots de traite mais également en salle de traites (jusqu'à 32 postes). Le prix d'un robot est de 50 000 € à l'achat auquel il faut ajouter 60 à 80 €/vache/an pour les consommables (Vergonjeanne 2014, web-agri.fr), ce qui représente un investissement majeur.

b) Délai entre la mesure de la concentration en progestérone et l'ovulation : choix du moment de l'insémination

La diminution de la concentration en progestérone dans le lait lors de la lutéolyse est rapide puisqu'en moyenne le passage de 15 ng/ml à 5 ng/ml se fait en 18 heures et que la diminution de 5 ng/ml à 2 ng/ml s'effectue en 9 heures (moyenne sur 20 individus, Roelofs et al. 2006b). En fonction de la valeur seuil de la concentration en progestérone choisie (15 ng/ml, 5 ng/ml ou 2 ng/ml) l'intervalle nécessaire pour la survenue de l'ovulation n'est pas le même (Roelofs et al. 2006c) (tableau 9).

*Tableau 9 : Intervalle entre le passage sous une valeur seuil de concentration en progestérone mesurée dans le lait ou le sang et l'ovulation (Roelofs et al. 2006b)*

	<b>Concentration en progestérone (ng/ml)</b>	<b>Moyenne (heures)</b>	<b>Intervalle (heures)</b>
Échantillons de lait	<15	98 ± 18	54 - 126
	<5	80 ± 11	54 - 98
	<2	71 ± 17	38 - 90
Échantillons de sang	<4	91 ± 20	66 - 138
	<2	75 ± 12	50 - 98

Si le seuil choisi est 5 ng/ml pour la concentration en progestérone dans le lait, alors l'ovulation a lieu  $80 \pm 11$  heures après le passage sous ce seuil. Selon les études, le moment optimal de l'insémination par rapport à l'ovulation, pour avoir un meilleur taux de fécondation, varie de 0 à 36 heures avant l'ovulation (tableau 10). L'IA devra donc être réalisée entre 55 et 80 heures après l'alarme.

*Tableau 10 : Réussite de l'IA en fonction de l'intervalle entre l'IA et l'ovulation*

En gras : intervalles IA – ovulation pour lesquelles le tût de réussite est le meilleur / <sup>1</sup>Diagnostic de gestation par échographie et palpation à plus de 30 jours après l'insémination

Articles	Temps avant l'ovulation			Après l'ovulation	Intervalle IA-ovulation permettant la meilleure réussite de IA
Hockey et al. (2010)	32-48h	16h – 32h	<b>0-16h</b>	Après l'ovulation	0-16h <sup>1</sup>
	14,3%	28,7%	<b>50,8%</b>	20%	
Roelofs et al. (2006b)	<b>24 – 36h</b>	<b>12h – 24h</b>	12 – 0h	+12h	12-36h
	<b>85%</b>	<b>82%</b>	69%	56%	
Sales et al. (2011)	>24h	12h-24h	<b>0-12h</b>	Après l'ovulation	0-12h <sup>1</sup>
	5,8%	19,4%	<b>37,9%</b>	36,4%	

Cependant, la réussite de l'insémination dépend non seulement de la fécondation de l'ovocyte mais également de la viabilité de l'embryon. Plusieurs études montrent que la viabilité de l'embryon est plus faible lorsque l'insémination est réalisée à un moment trop proche de l'ovulation ou après (Dalton et al. 2001, Roelofs et al. 2006b, Sales et al. 2011). Le pourcentage d'embryons viables pour les inséminations réalisées 12 à 24 heures avant l'ovulation est de 68% alors qu'il est seulement de 6% pour les inséminations faites après l'ovulation (Roelofs et al. 2006b, l'ovulation est détectée par échographie (toutes les 2 heures), la récupération des embryons se fait par lavage, 7 jours après l'insémination et la viabilité des embryons est déterminée selon les critères de l'IETS (= International Embryo Transfer Society)). Ceci explique les faibles taux de fécondation observés lorsque l'insémination a lieu après l'ovulation (tableau 10).

La détection des chaleurs est donc un exercice difficile du fait de la discrétion des manifestations de la part des vaches et d'un manque de temps consacré à l'observation de la part des éleveurs. Des systèmes connectés basés sur un ou plusieurs paramètres variés ont été développés dans le cadre de l'élevage de précision pour aider à la détection des chaleurs. Parmi les paramètres mesurables de façon automatisé et les points de repère utilisables, la mesure de la concentration en progestérone est disponible dans le lait grâce au système Herd Navigator® développé par Delaval®.

Lorsque la concentration en progestérone devient inférieure à 5 ng/ml, le système déclenche une alarme prévenant l'éleveur que la vache est en chaleurs. Le concepteur préconise une

insémination 24 à 48 heures après le déclenchement de l'alarme. Néanmoins, les éleveurs s'interrogent sur le délai optimal entre l'alarme « chaleurs » et l'IA. De plus, le système Herd Navigator® (HN) intègre plusieurs données permettant de caractériser chaque individu pour fournir une probabilité de détection des chaleurs qui s'interprète également comme la probabilité de réussite de l'insémination (Friggens et al. 2005). Les éleveurs qui se basent sur ce chiffre pour décider d'inséminer ou non s'interrogent sur la véracité de cette évaluation.

L'objectif de notre étude de terrain est donc de déterminer le délai optimal entre l'alarme chaleurs du système HN et l'insémination ainsi que l'évaluation de la véracité de la probabilité de réussite de l'insémination fournie par le logiciel chez la vache laitière Prim'Holstein en France.



## **DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE**





## II – MATERIEL ET METHODE

### 2.1. Élevages

L'étude s'est déroulée entre 2013 et 2016. Elle compte 8 élevages de vaches de race Prim'Holstein, répartis sur le territoire français (figure 7). Quatre de ces huit élevages ont fourni des données sur deux saisons différentes.



*Figure 7 : Répartition en France des 8 élevages de l'étude*

*Les marqueurs bleus représentent la localisation des élevages*

Le nombre moyen de vaches par élevage est de 81 vaches [min-max ; 69-209]. Chaque élevage possède au minimum un robot de traite de la marque DeLaval® intégrant le système Herd Navigator®. Ce système associé aux robots de traite Voluntary Milking System (VMS) de DeLaval® (Suède) est développé en France depuis 2013. Il s'agit d'un mini laboratoire intégré au robot qui fournit entre autres, la concentration en progestérone brute et lissée ainsi que l'heure et la date des éventuelles alarmes. L'ensemble des données est enregistré dans le logiciel Delpro® (de DeLaval®). Il centralise les données issues du robot de traite DeLaval® (la production laitière journalière (moyenne sur les 7 jours qui précèdent la traite), la parité, le nombre de jours en lactation) et les données du système Herd Navigator®.

Le logiciel Delpro® fournit pour chaque vache et à chaque traite la production laitière. A partir de cette valeur la moyenne quotidienne de production laitière annuelle par élevage est calculée et répertoriée dans le tableau 10. Elle est de 31,6 kg/j avec une moyenne de 2,7 traites par jour. L'intervalle vêlage – première IA (IV-IA1) moyen est de  $100 \pm 8$  jours, l'intervalle vêlage – vêlage (IVV) est de  $421 \pm 16,6$  jours (tableau 10).

La reprise de cyclicité dans ces élevages se fait en moyenne avant 60 jours et pour trois d'entre eux avant 30 jours. Elle est détectée par la mesure de la concentration en progestérone dans le lait. Une concentration supérieure à 5 ng/ml témoigne de la présence d'un corps jaune.

**Tableau 10 : Performances des élevages de l'étude**

*V-IA1 = Intervalle vêlage – première insémination, IVV = Intervalle vêlage-vêlage, TRIA = Taux de réussite à l'insémination,  
¹Production laitière quotidienne moyenne sur 1 an fournie par le logiciel Delpro®, moyenne de toutes les données sur les saisons  
considérées dans l'étude*

	E1	E2	E3	E4 <sup>2</sup>	E5	E6 <sup>2</sup>	E7	E8	Moyenne élevage
<b>PL quotidienne (kg/j)<sup>1</sup></b>	30	35	27	36	33	33	30	29	31,6
<b>V-IA1 multipares (j)</b>	102	80	98	101	95	95	115	114	100
<b>IVV (j)</b>	438	413	389	413	404	441	447	426	421
<b>TRIA moyen (%)</b>	39	46	63	67	37	22	44	38	44
<b>Reprise de cyclicité (jours)</b>	<30	<30	30 - 60	30 – 60	30 – 60	30 – 60	30 – 60	<30	/

## 2.2. Animaux

Les données portent sur 578 cycles issus de 233 vaches. Une insémination est réalisée sur chacun des cycles de l'étude, détectés par le système Herd Navigator®.

La parité, le nombre de jours post-partum et la production laitière moyenne sur les 7 jours précédant l'alarme sont enregistrés pour chaque cycle (données extraites du logiciel Delpro®).

## 2.3. Détection des chaleurs

Le logiciel Herd Navigator® émet différents types d'alarmes qui caractérise le statut physiologique de l'individu :

- Anœstrus prolongé
- Chaleurs
- Gestation probable
- Kyste folliculaire
- Kyste lutéal
- Avortement

Le système dose automatiquement la concentration en progestérone dans le lait. Les mesures débutent à 20 jours post-partum et se poursuivent jusqu'à la confirmation de la gestation. L'intervalle moyen entre deux dosages consécutifs de progestérone est de 2,7 jours mais il peut varier de 0 à 10 jours en fonction de la phase du cycle. En effet, lorsque la concentration en progestérone commence à diminuer et que l'on se rapproche du moment de l'ovulation, il est possible d'avoir deux dosages à moins de 24 heures d'intervalle.

La concentration en progestérone dans le lait est mesurée par le système lors de la traite. Il s'agit de la concentration en progestérone « brute ». A partir de celle-ci, le logiciel fournit une valeur de la concentration en progestérone « lissée ». C'est elle qui est prise en compte pour le déclenchement de l'alarme. Le détail du calcul d'obtention de cette valeur, n'est pas connu. L'alerte « chaleurs » se déclenche lorsque la concentration en progestérone lissée devient strictement inférieure à 5 ng/ml. L'heure et le jour de l'alarme sont enregistrés.

Les mesures de concentration en progestérone vont continuer jusqu'à ce que l'éleveur valide la gestation dans le logiciel. En cas d'insémination non fécondante, les mesures continuent afin de détecter des nouvelles chaleurs.

Le logiciel indique également la probabilité de réussite de l'IA (sous forme de pourcentage) si celle-ci est réalisée sur le cycle considéré. L'algorithme qui détermine cette probabilité n'est pas connue de manière précise. Une étude de Friggens et al. (2005) fournit cependant des indications quant aux facteurs pris en compte pour élaborer cette probabilité.

#### 2.4. Insémination

Tous les cycles considérés font l'objet d'une insémination transcervicale en semence congelée, réalisée par l'éleveur lui-même ou par un inséminateur. La décision d'inséminer ou non le cycle détecté est prise par l'éleveur. Il enregistre le jour et l'heure de l'IA. Ces données ont permis de calculer le délai, en heures, entre l'alarme « chaleurs » et le moment de l'insémination. De plus, à partir de la date de l'IA, la saison de l'insémination est déterminée : printemps, été, automne ou hiver. Le printemps s'étend du 21 mars au 21 juin inclus, l'été du 22 juin au 21 septembre, l'automne du 22 septembre au 20 décembre et l'hiver du 21 décembre au 20 mars. Le rang de l'insémination est également pris en compte.

#### 2.5. Diagnostic de gestation

Le diagnostic de gestation est enregistré par l'éleveur dans le logiciel Delpro<sup>®</sup>. Celui-ci peut se baser sur l'alarme « gestation probable » fournie par le système Herd Navigator<sup>®</sup> : concentration en progestérone supérieure à 5 ng/mL pendant au moins 4 semaines. Il peut également faire réaliser un diagnostic de gestation par échographie utérine ou palpation transrectale. Une IA est qualifiée de fécondante lorsqu'elle est la dernière IA pratiquée sur une vache par la suite, déclarée gravide dans le logiciel Delpro<sup>®</sup>. Ceci entraîne l'arrêt des mesures de progestérone.

#### 2.6. Collecte des données

Dans l'étude, un cycle correspond à une insémination dont on connaît la date et l'heure, faisant suite à l'alarme « chaleurs » du logiciel Delpro<sup>®</sup> et pour laquelle le diagnostic de gestation est connu. Les données sont intégrées dans un tableau Excel<sup>®</sup>, les facteurs conservés sont ceux susceptibles d'influencer la réussite de l'IA (tableau 11). Seuls les cycles sans données manquantes sont retenus dans l'étude. Les données les plus restrictives sont l'heure et le jour de l'insémination qui devaient être notés par l'éleveur, ainsi que la réussite de l'IA. Pour chaque cycle, 16 facteurs ont été enregistrés (réussite à l'IA et délai compris) et catégorisés (tableau 11).

**Tableau 11 : Liste et catégorisation des facteurs retenus susceptibles d'influencer la réussite de l'insémination**

CIA : Centre d'insémination artificielle,<sup>1</sup>production moyenne par jour, cette moyenne est effectuée sur toutes les traites réalisées sur les 7 jours précédents l'alarme, n = nombre de cycle

Facteur	Catégories	n
<b>Élevage</b>	1	104
	2	54
	3	32
	4	60
	5	90
	6	23
	7	170
	8	45
<b>Production laitière (kg/j)<sup>1</sup></b>	[13-25]	63
	]25 à 35]	279
	]35 à 45]	204
	]45 à 60]	32
<b>Nombre de jours post-partum</b>	[30 à 60]	18
	]60 - 120]	347
	>120	213
<b>Parité</b>	1	219
	2	149
	3	109
	≥ 4	47
<b>Concentration en progestérone lissée (ng/ml)</b>	<2	6
	]2-2,5]	12
	]2,5 - 2,75]	71
	]2,75 - 3]	82
	]3 - 3,25]	74
	]3,25 - 3,5]	83
	]3,5 - 3,75]	68
	]3,75 - 4]	48
	]4 - 4,5]	82
	]4,5 - 4,99]	52
<b>Jour de l'alarme</b>	Lundi	81
	Mardi	81
	Mercredi	73
	Jeudi	77
	Vendredi	100
	Samedi	69
	Dimanche	97

<b>Heure de l'alarme</b>	00h à 6h	120
	6h à 12h	174
	12h à 18h	154
	18h à 00h	130
<b>Probabilité de réussite de l'IA (%)</b>	[21 - 25]	21
	]25 - 50]	13
	]50 - 60]	12
	]60 - 70]	106
	]70 - 80]	95
	]80 - 88]	331
<b>Type d'insémination</b>	CIA	495
	Éleveur	83
<b>Numéro d'IA</b>	1	291
	2	159
	≥ 3	128
<b>Saison de l'insémination</b>	Hiver	178
	Printemps	180
	Été	121
	Automne	99
<b>Heure de l'IA</b>	00h à 6h	16
	6h à 12h	290
	12h à 18h	198
	18h à 00h	74
<b>Jour de l'IA</b>	Lundi	86
	Mardi	86
	Mercredi	93
	Jeudi	76
	Vendredi	93
	Samedi	92
	Dimanche	52
<b>Délai alarme – IA (h)</b>	]0 - 30]	55
	]30 - 40]	183
	]40 - 50]	206
	]50 - 60]	78
	]60 - 103]	56
<b>Réussite IA</b>	Non fécondante	323
	Fécondante	255

## 2.7. Traitement des données et analyse statistique

### a) Analyse univariée

Des analyses univariées sont réalisées à l'aide de tests du Chi2 avec le logiciel Excel® (fonction TEST.KHIDEUX). L'objectif de ces tests est d'évaluer l'influence de chaque facteur, pris individuellement, sur le taux de réussite à l'IA. Les résultats sont présentés sous forme de moyenne  $\pm$  écart-type.

Un test de Kruskal-Wallis est utilisé pour comparer les probabilités de réussite à l'IA fournies par le système dans les groupes d'IA fécondantes versus IA non fécondantes.

### b) Mise en place du modèle

Afin d'évaluer les variables qui affectent la réussite de l'IA, un modèle linéaire mixte généralisé (GLMM, *generalized linear mixed model*) a été réalisé avec la fonction *glmer* du package « lme4 » du logiciel R (R Core Team, 2016).

Ce type de modèle comporte à la fois des facteurs fixes et des facteurs dits aléatoires. Dans notre cas, l'introduction de la variable « élevage » en effet aléatoire est destinée à prendre en compte la variabilité du taux de réussite à l'IA entre les élevages. Afin de sélectionner les variables introduites dans le modèle final comme facteurs à effets fixes, les liens entre les différents paramètres disponibles et la réussite de l'IA ont été systématiquement étudiés avec des analyses univariées (test Chi2 précédemment évoqués). Seules les variables dont le degré de signification (p-value) dans l'analyse univariée était inférieur à 20% sont retenues pour l'élaboration du modèle.

Le modèle initial a ainsi été construit en prenant en compte l'ensemble des variables restantes. Une sélection pas-à-pas descendante a permis d'obtenir le modèle final. Cette procédure consiste à retirer à chaque étape, la variable dont la p-value est la plus élevée. A chaque retrait, un nouveau modèle est généré et comparé au précédent afin de vérifier que le retrait de la variable considérée n'entraîne pas de dégradation du modèle (utilisation de la fonction *anova(modell,model2,test= « Chisq »*)). En termes statistiques, ce test regarde si les variabilités non expliquées par les deux modèles sont significativement différentes ou pas. Si la p-value est supérieure à 0,05, alors il n'y a pas de différences significatives entre le modèle à n facteurs et le modèle à n-1 facteurs. Le modèle à n-1 facteurs peut donc être conservé et ce jusqu'à ce que le retrait d'un des facteurs génère une p-value au test Anova inférieure à 0,05.

Une fois le modèle final obtenu, la qualité du modèle construit est vérifiée à l'aide de trois outils :

- Le test d'Hosmer et Lemeshow pour vérifier si le modèle prédit des taux de réussite à l'IA proches de ceux observés
- L'aire sous la courbe ROC (Receiver Operating Characteristic) qui permet d'évaluer le pouvoir discriminant du modèle. Elle permet de faire la différence entre les échecs et les succès du modèle
- Le taux d'erreurs de classement du modèle

### III – RESULTATS

Plus de 1000 cycles sont répertoriés pour les 8 élevages sur une ou deux saisons. Après nettoyage des données et suppression des cycles pour lesquels des valeurs étaient manquantes, un total de 578 cycles sont conservé. Le taux de réussite global à l'insémination (TRIA) est de 44,1 %.

#### 3.1. Analyses univariées

Les facteurs analysés concernent l'élevage, les facteurs liés à l'alarme et à la conduite de l'IA, ainsi que les caractéristiques des animaux pouvant influencer la réussite à l'insémination. Les résultats des analyses univariées sont présentés dans le tableau 12.

*Tableau 12 : Résultats des analyses univariées*

*Les facteurs en gras sont ceux qui seront inclus ultérieurement dans le modèle statistique ( $p$ -value < 0,2)*

<b>Facteurs</b>	<b>p-value</b>
<b>Élevage</b>	<b>0,0006</b>
<b>Production laitière</b>	<b>0,099</b>
<b>Nombre de jours post-partum</b>	<b>0,007</b>
Parité	0,753
Concentration en progestérone « lissée » au moment de l'alarme	0,753
Jour de l'alarme	0,276
Heure de l'alarme	0,973
Probabilité de réussite de l'insémination	0,313
<b>Type d'insémination</b>	<b>0,045</b>
<b>Rang de l'IA</b>	<b>0,156</b>
<b>Saison de l'IA</b>	<b>0,043</b>
Heure de l'IA	0,574
Jour de l'IA	0,577
<b>Délais entre l'alarme et l'insémination</b>	<b>0,187</b>

##### a) Les élevages

La réussite des inséminations par élevage varie entre 22% et 67% avec une moyenne de 44% ( $p=0,003$ , Tableau 13). Les inséminations sont pour 14% d'entre elles réalisées par l'éleveur contre 86% par un centre d'insémination.

Tableau 13 : Pourcentage de réussite des inséminations en fonction de l'élevage ( $p = 0,003$ )

IPE : Insémination par l'éleveur

Élevage	IPE	Nombre de cycles	Réussite IA (%)
1	Non	104	39
2	Non	54	46
3	Non	32	63
4	Oui	60	67
5	Non	90	37
6	Oui	23	22
7	Non	170	44
8	Non	45	38
<b>Total</b>	/	<b>578</b>	<b>44,1</b>

b) Les caractéristiques des animaux

i. La production laitière

Pour 83 % des cycles étudiés, la production laitière moyenne quotidienne sur les 7 jours précédant l'alarme est comprise entre 25 et 45 kg/j de lait avec une moyenne pour tous les cycles de  $33,5 \pm 5,8$  kg/j. La réussite à l'insémination est de 43 % pour les vaches produisant moins de 45 kg de lait par jour et elle tombe à 28% pour les hautes productrices (de 45 à 60 kg/j) (Figure 8,  $p < 0,1$ ). Cependant les hautes productrices ne représentent que 6% des cycles de l'étude (figure 8).

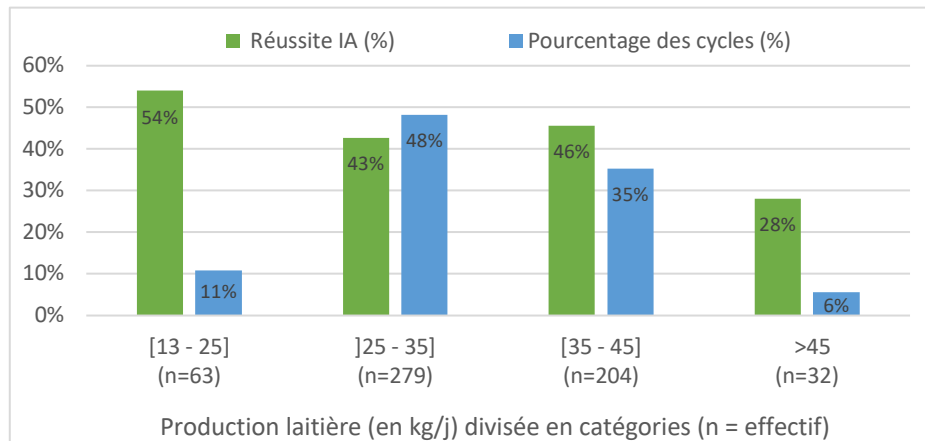


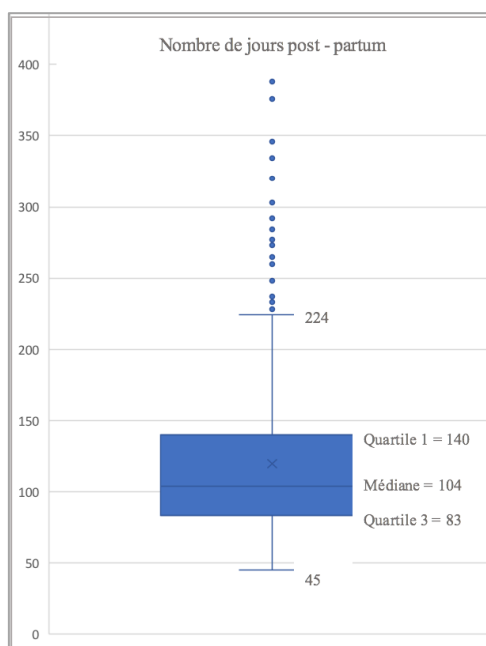
Figure 8 : Taux de réussite de l'IA en fonction de la production laitière moyenne quotidienne au cours des 7 jours précédant l'alarme

Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées

ii. Délai post-partum

L'alerte « chaleurs » a lieu en moyenne à  $120 \pm 45$  jours post-partum : 80% des inséminations sont réalisées dans les 5 premiers mois suivant le vêlage et les 20% restant s'étendent de 6 mois à 1 an et demi après le vêlage. La majorité des inséminations se trouvent dans l'intervalle 45 – 225 jours (figure 9).

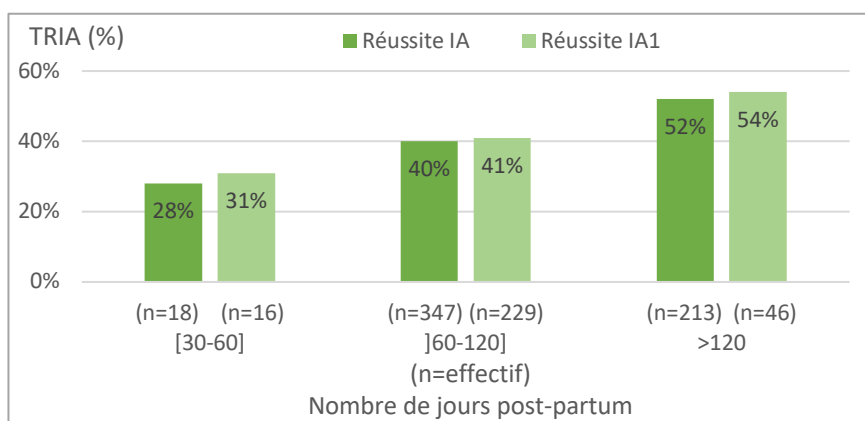




**Figure 9 : Répartition des cycles par rapport au nombre de jours en lactation**

Les trois quartiles (Q1, Médiane, Q2) divisent les données en quatre parts égales de sorte que chaque partie soit représentée par le même nombre de valeurs. La croix représente la moyenne du nombre de jours post-partum, les points en haut et en bas représentent des valeurs extrêmes.

Tous les 60 jours, le taux de réussite à l'IA augmente de 12 points : de 30 à 60 jours post-partum par rapport à 60 à 120 jours post-partum puis par rapport aux IA réalisées après 120 jours ( $p = 0,007$ , Figure 10). Une différence de 16 points est observée entre la réussite des inséminations réalisées avant et après 120 jours post-partum, respectivement 36% contre 52% ( $p = 0,0002$ ). Il en est de même pour la réussite à l'IA1 qui augmente de 14 points (figure 10).



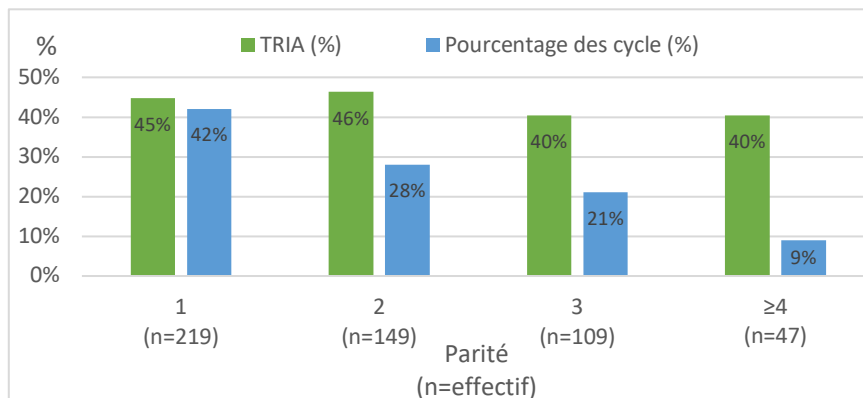
**Figure 10 : Réussite de l'IA et de l'IA1 en fonction du nombre de jours de lactation au moment du déclenchement de l'alarme**

Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées.

Il est assez rare que la première insémination ait lieu à plus de 4 mois après vêlage : 84% des IA1 sont réalisées dans les quatre premiers mois post vêlage (245/291 - figure 10).

### iii. La parité

La parité s'étend de 1 à 7 dans l'étude avec une moyenne de  $2 \pm 1$ . La majorité des cycles concerne des primipares : soit 42 % des cycles étudiés (figure 11). Le taux de réussite à l'insémination est de 46% lorsque la parité est inférieure ou égale à deux et diminue de six points au-delà (figure 11). Cependant cette différence n'est pas significative ( $p>0,2$ ).



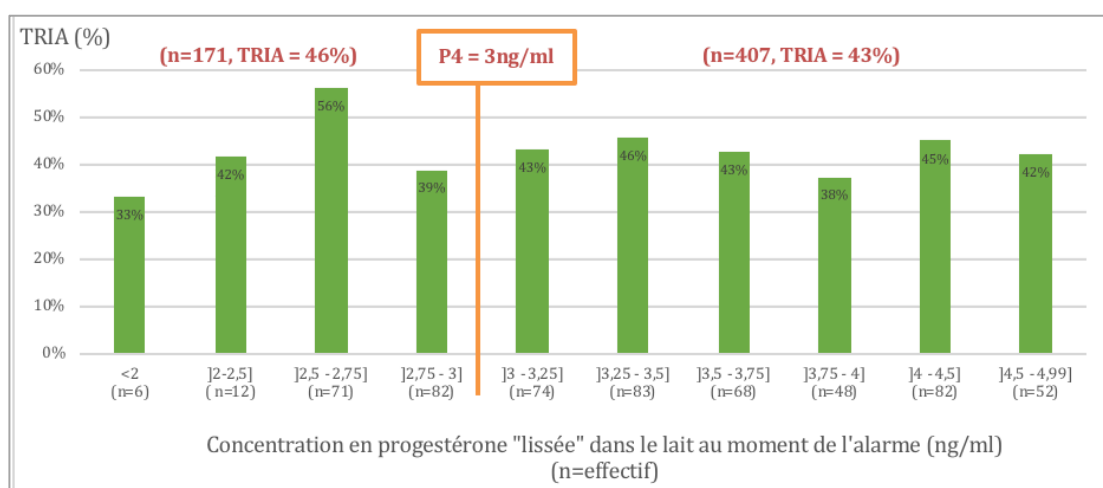
**Figure 11 : Distribution de la parité dans la population étudiée et son influence sur la réussite de l'IA**

*Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées*

### c) Caractéristiques de l'alarme

#### i. Valeur de la concentration en progestérone

Au moment de l'alarme, la concentration en progestérone « lissée » du lait est en moyenne de  $3,46 \pm 0,56$  ng/ml et varie de 0,38 à 4,99 ng/ml. Le taux de réussite de l'insémination ne dépend pas de cette valeur de progestérone ( $p>0,2$ , figure 12). En considérant le seuil de 3 ng/ml, seuil utilisé dans une des premières études de Friggens et al. (2005), le TRIA est de 43% entre 3 et 5 ng/ml contre 46% en dessous de 3 ng/ml, cette variation n'est pas significative ( $p=0,61$ ). Or 70% des IA sont réalisées pour une concentration comprise entre 3 et 5 ng/ml.

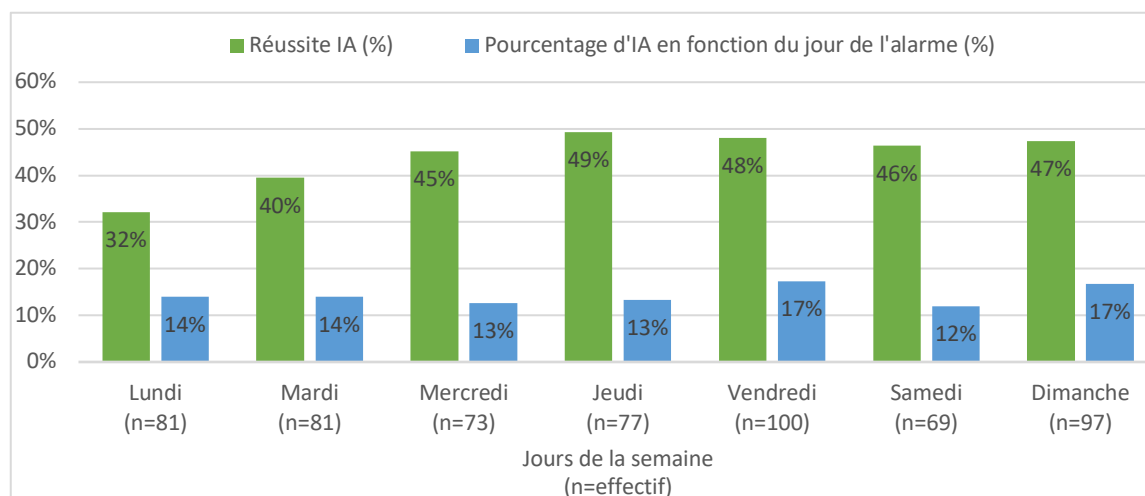


**Figure 12 : Influence de la concentration en progestérone lissée dans le lait au moment du déclenchement de l'alarme sur la réussite de l'IA**

*Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées*

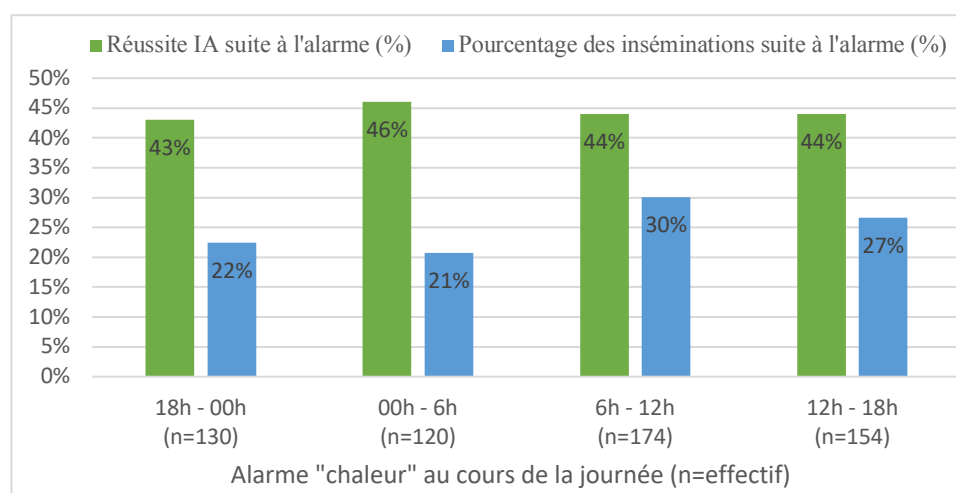
## ii. Jour et heure de l'alarme « chaleurs »

La réussite de l'IA n'est influencée ni par le jour de l'alarme ni par le moment de l'alarme dans le nyctémère (respectivement  $p > 0,2$  - figure 13 et  $p > 0,2$  - figure 14).



**Figure 13 : Réussite de l'insémination et pourcentage d'insémination en fonction du jour de l'alarme**

Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées

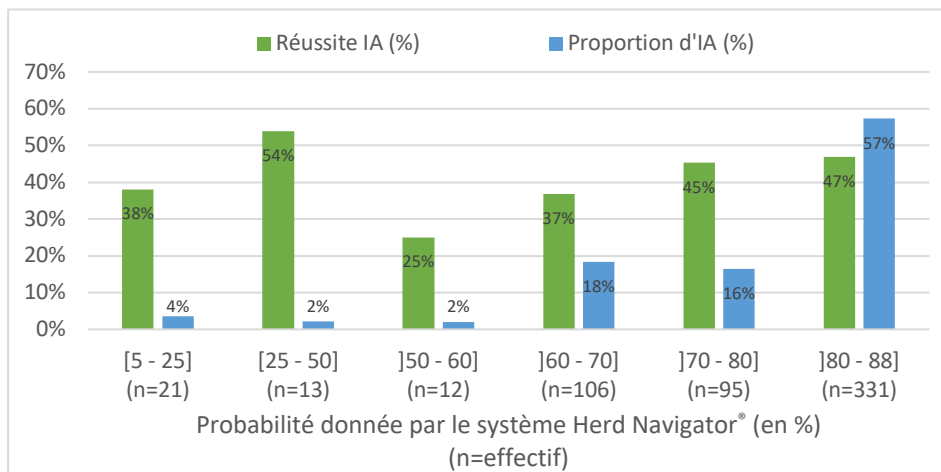


**Figure 14 : Réussite de l'insémination et pourcentage d'IA en fonction de l'heure de l'alarme**

Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées

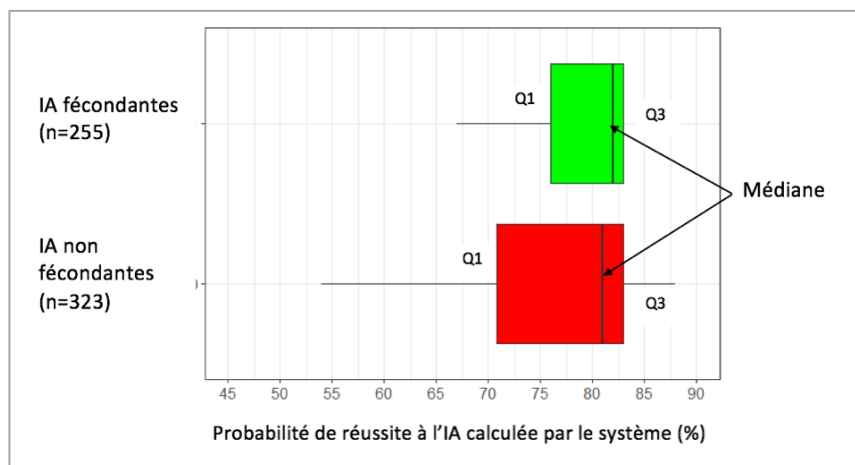
## iii. La probabilité de réussite de l'IA annoncée par le système

Le système fournit la probabilité de réussite de l'IA si elle est réalisée sur le cycle détecté par l'alarme. Elle varie de 5% à 88%, avec une moyenne de  $75 \pm 5$  %. Le taux de réussite réel de l'IA ne varie pas en fonction de la probabilité ainsi calculée par le système ( $p=0,313$ , figure 15). Plus de la moitié des inséminations est réalisée lorsque la probabilité de réussite est strictement supérieure à 88% (57% des IA, figure 15) alors que le taux réel de réussite est de 47%.



**Figure 15 : Influence de la probabilité de réussite de l'IA annoncée par le système sur la réussite réelle de l'IA**  
Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées

Le test non paramétrique de Kruskal Wallis ne met en évidence aucune différence significative entre les IA fécondantes et non fécondantes ( $p$ -value = 0,29). La moyenne des probabilités données par le système Herd Navigator® pour les deux groupes diffère seulement d'un point : 74,5% de probabilité de réussite pour les inséminations non fécondantes contre 75,7% en moyenne pour les autres. De plus les médianes sont respectivement de 81% et 82% et les quartiles 3 sont exactement les mêmes et ont pour valeur 83% (figure 16).



**Figure 16 : Répartition de la probabilité de réussite calculée par le système en fonction de la réussite de l'insémination**

(Q1 : quartile 1, Q3 : quartile 3, les trois quartiles (Q1, Médiane, Q2) divisent les données en quatre parts égales de sorte que chaque partie présente le même nombre de valeurs)

De plus, les distributions des probabilités de réussite annoncées par le système sont similaires pour les IA fécondantes et pour les IA non fécondantes (Figure 17). Une légère différence est observée pour le début de la distribution : 14% des IA non fécondantes ont une probabilité de réussite inférieure à 60% contre seulement 10% des IA fécondantes (différence non significative).

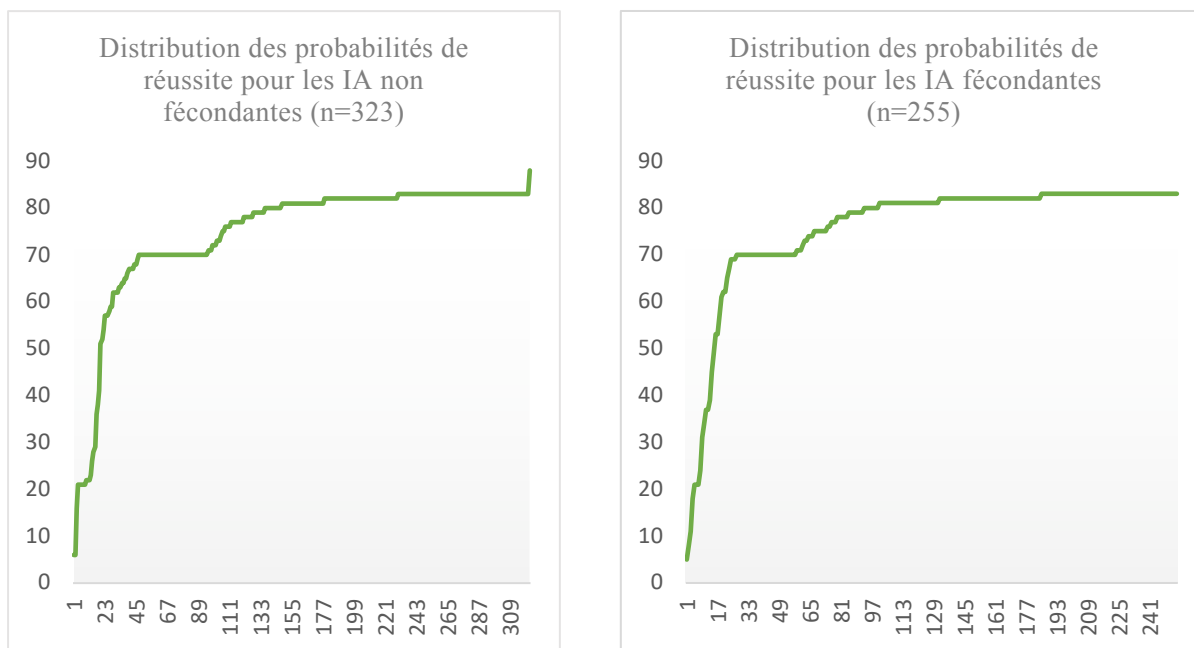


Figure 17 : Distribution de la probabilité de réussite de l'insémination annoncée par le système lors du déclenchement de l'alarme pour les inséminations non fécondantes et fécondantes

#### d) Caractéristique de l'insémination

##### i. L'insémination par l'éleveur (IPE) ou par un centre d'insémination (CIA)

Pour 14% des cycles, les inséminations sont pratiquées par l'éleveur lui-même, le reste des inséminations est réalisé par un centre d'insémination. Le taux de réussite des IA des deux élevages pratiquant l'IPE (n = 83 cycles) est supérieur à celui des autres élevages utilisant les services des CIA (n = 495 cycles), respectivement 54 % contre 42 % (p<0,05). Cependant les deux élevages pour lesquels les éleveurs inséminent eux même sont l'élevage 6 avec le meilleur TRIA, 67% et l'élevage 4 avec le moins bon, 22% (figure 13).

##### ii. Le numéro de l'insémination

Le numéro de l'insémination est également reporté par l'éleveur et s'étend de 1 à 8. Les IA de rang 1 et 2 représentent plus des trois quarts des cycles exploités dans l'étude (figure 18). Seize inséminations (soit 2,7% des IA) ont un rang supérieur ou égal à 5.

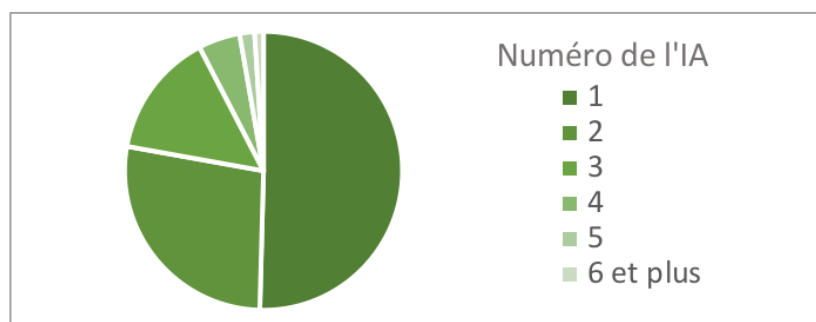
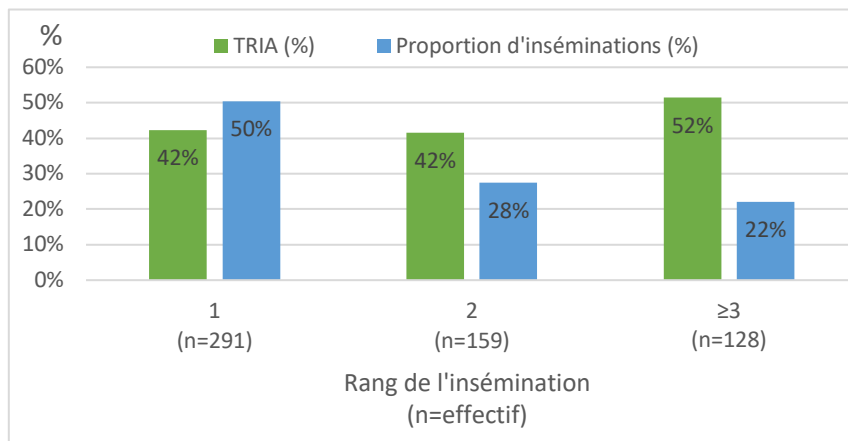


Figure 18 : Répartition des IA en fonction du rang

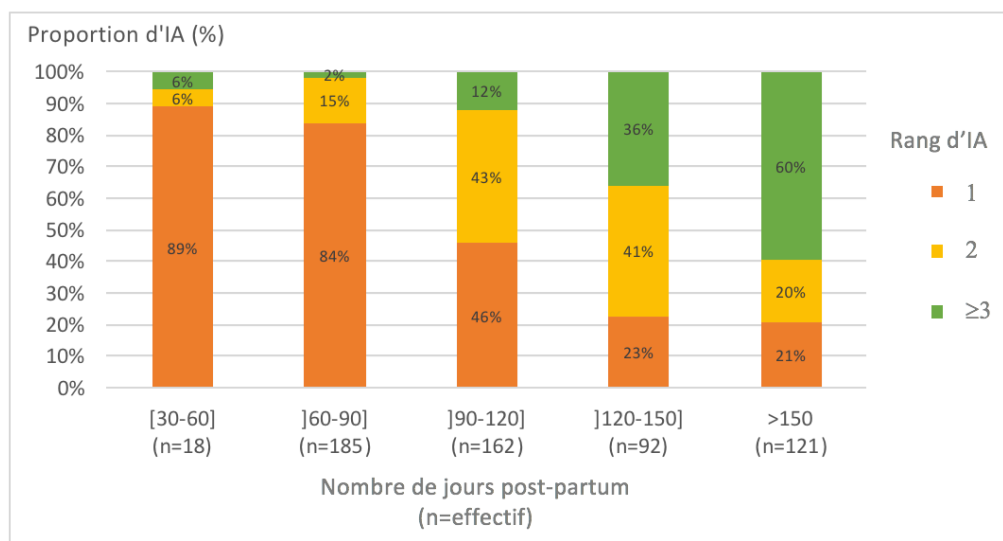
On sépare les inséminations en trois catégories : première IA, deuxième IA puis toutes les IA de rang supérieur ou égal à 3. Le pourcentage de vaches ayant reçu 3 IA ou plus est de 22%. Aucune différence du taux de réussite à l'IA n'est observée entre les premières et deuxièmes ; en revanche, il augmente de 10 points pour les IA de rangs supérieur ou égal à 3 (42% contre 52%,  $p=0,16$  - figure 19).



*Figure 19 : Réussite de l'insémination en fonction du numéro de l'IA*

*Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées*

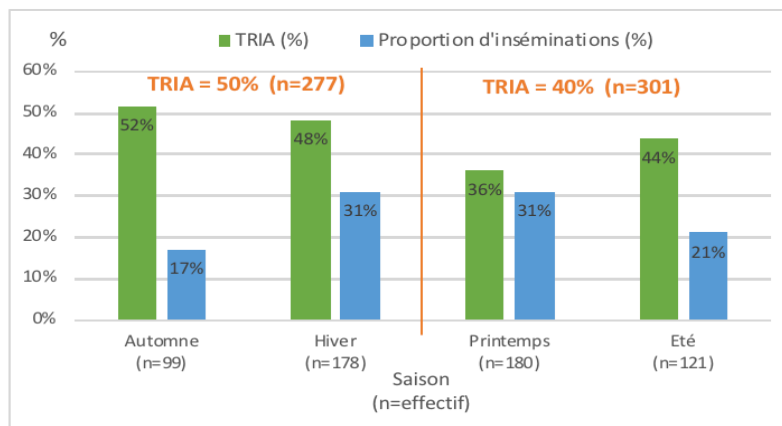
L'étude compte 291 IA premières, et 67 % d'entre elles sont réalisées entre 30 et 120 jours post-partum. La proportion d'IA1 diminue au fur et à mesure que le nombre de jours post-partum augmente (figure 10 –  $p<0,05$ ).



*Figure 20 : Distribution du rang d'IA en fonction du délai post-partum*

### iii. La saison de l'insémination

La majorité des inséminations est réalisée en hiver ou au printemps (62% des IA). La réussite est meilleure pour les inséminations réalisées en hiver ou à l'automne : 49,5% en moyenne contre 40% au printemps et en été (Figure 19,  $p<0,05$ ).



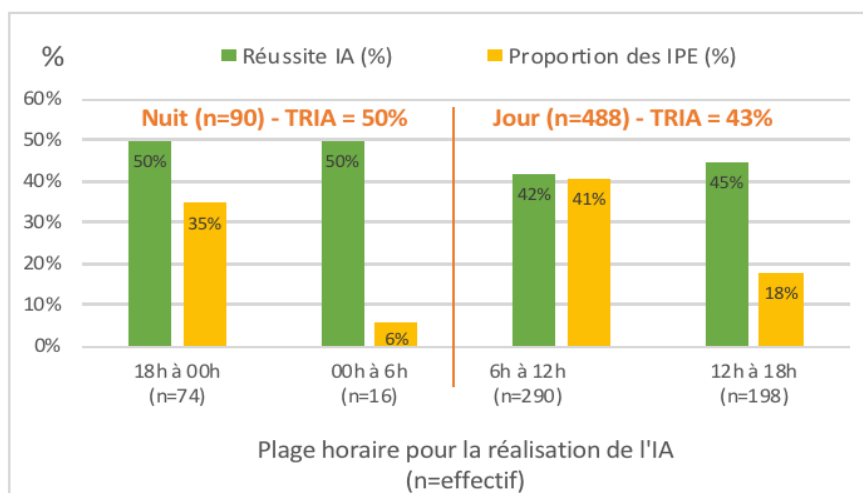
**Figure 21 : Influence de la saison sur la réussite de l'insémination**

*Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées*

#### iv. L'heure de l'insémination

La plupart des inséminations est réalisée pendant la journée (entre 6 et 18 heures - 84%). Parmi les inséminations de nuit (entre 18 et 6 heures du matin) 27% sont des IPE alors qu'elles représentent seulement 10% des IA de jour (nombre d'IPE / nombre total d'IA). Sur la totalité des IPE, 41% (34/83) sont réalisées sur des horaires de nuits, contre seulement 11% des IA réalisées par CIA sont de nuit (56/495 - figure 22 –  $p < 0,05$ ).

La réussite de l'insémination est de 50% lorsque celle-ci est réalisée la nuit contre 43% pour les inséminations en journée (figure 22). Cependant l'heure de réalisation de l'insémination n'influence pas sa réussite de manière significative ( $p > 0,5$ ).



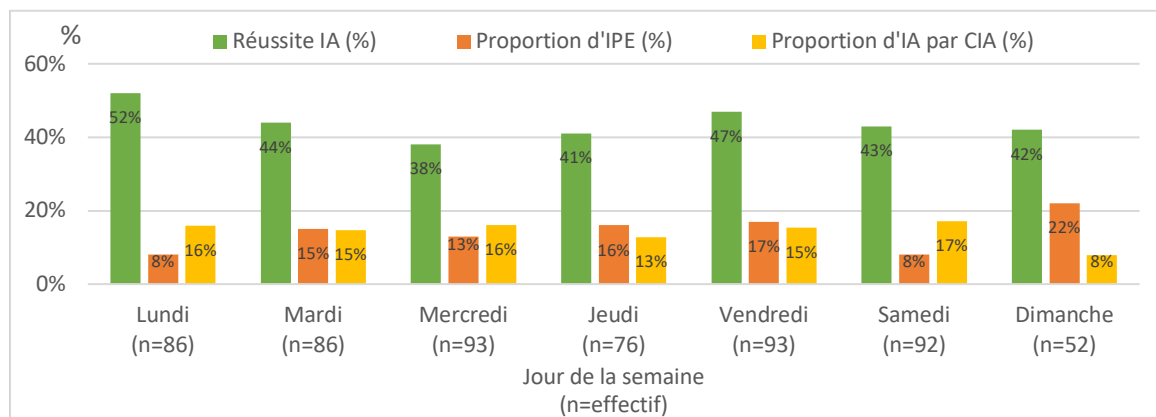
**Figure 22 : Taux de réussite de l'insémination et proportion des IPE par rapport l'heure de réalisation**

*IPE : Insémination par l'éleveur, le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées, la proportion des IPE correspond au nombre d'IPE effectuées dans la catégorie considérée sur le nombre d'IPE total*

#### v. Jour de l'insémination

Les IA se répartissent de façon équivalente sur tous les jours de la semaine, sauf le dimanche ou seulement 52 inséminations sont réalisées contre une moyenne de 88 les autres jours de la semaine (figure 23). La proportion d'IPE le dimanche (nombre d'IPE le dimanche par rapport

au nombre d'IPE totale) est bien plus importante que celle durant la semaine (22% contre 14% en moyenne en semaine – Figure 23), car tous les CIA ne travaillent pas le dimanche (seulement 8% des inséminations par CIA ont lieu le dimanche).



**Figure 23 : Réussite de l'insémination par rapport à son jour de réalisation**

Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées, la proportion des IPE correspond au nombre d'IPE effectuées dans la catégorie considérée sur le nombre d'IPE total, même type de calcul pour les IA par CIA

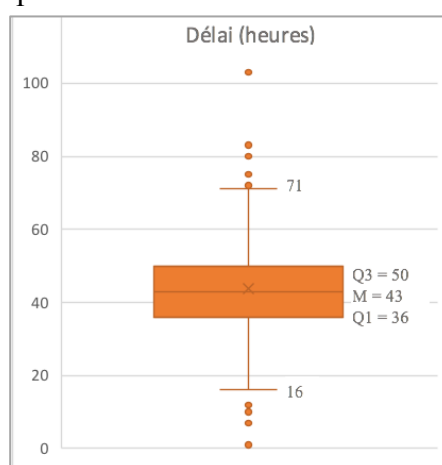
Le nombre d'inséminations réalisées le samedi ou le lundi pourrait être plus important pour compenser les inséminations non réalisées le dimanche mais ce n'est pas le cas (figure 23).

Avec une p-value de 0,577 au test du Chi2, la réussite de l'IA ne dépend pas significativement du jour de réalisation de l'insémination.

#### e) Le délai entre l'alarme et l'insémination

Le délai s'étend de 1 heure à 4 jours et 7 heures (103 heures) après le déclenchement de l'alarme. Il est en moyenne de  $43,8 \pm 9,3$  heures. La majorité des inséminations est réalisé entre 36 heures et 50 heures post-alarme (entre les quartiles 1 et 3 – figure 24).

Neuf valeurs sont considérées comme extrêmes, elles représentent moins de 2% des cycles. La fenêtre alarme – insémination peut alors être restreinte à l'intervalle 16 - 71 heures (figure 24).

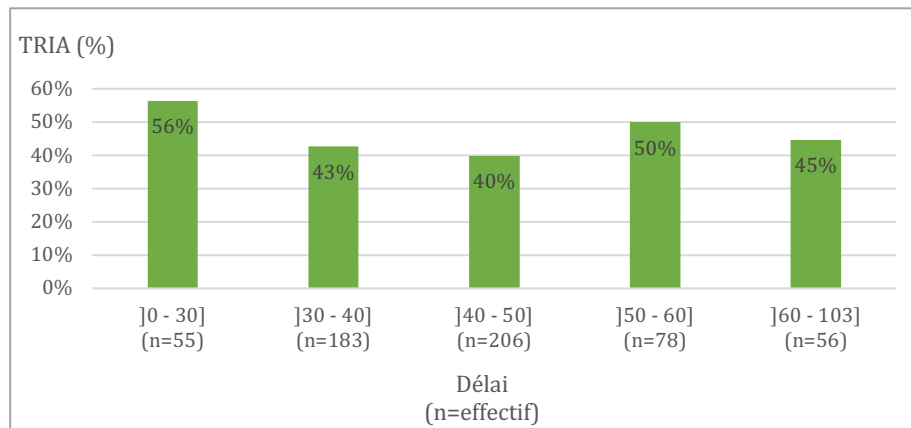


**Figure 24 : Répartition des délais entre alarme et IA**

Q1 : quartile 1, M : médiane, Q3 : quartile 3, la croix représente la moyenne qui est de 44 heures, les points en haut et en bas représente des valeurs extrêmes, les trois quartiles (Q1, Médiane, Q2) divisent les données en quatre parts égales de sorte que chaque partie présente le même nombre de valeurs



En revanche, la réussite à l'IA n'est pas affectée par le délai écoulé depuis l'alarme (figure 25,  $p=0,18$ ).



*Figure 25 : Taux de réussite à l'IA en fonction du délai entre l'alarme et l'IA*

*Le chiffre au-dessus des barres correspond au taux de réussite moyen des inséminations pour les catégories considérées*

### 3.2. Les résultats statistiques

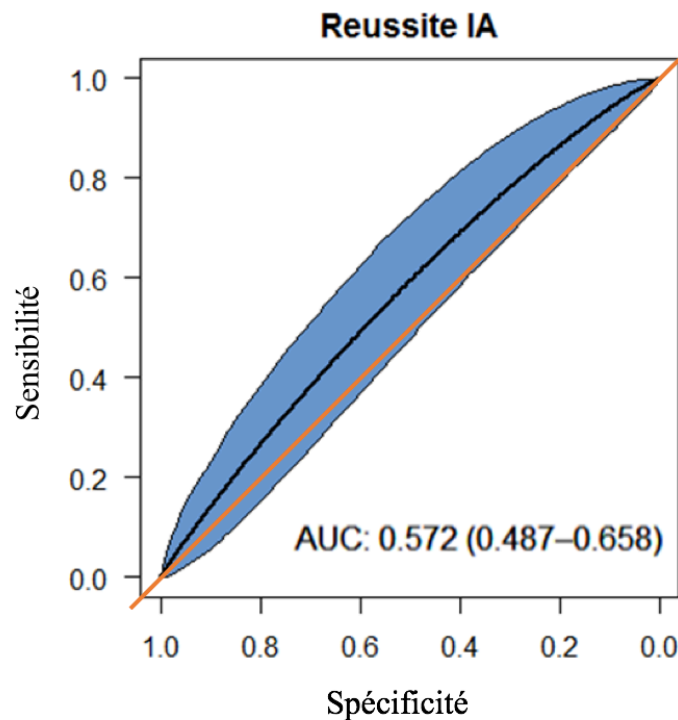
A l'issue de l'analyse univariée, six facteurs pour lesquels la p-value est inférieure à 0,2 ont été identifiés :

- La saison
- Le nombre de jours post-partum
- Le rang de l'IA
- L'élevage
- Le type d'IA réalisée
- La production laitière.

Des tests chi2 sont réalisés afin de montrer la dépendance entre le nombre de jours post-partum et le rang de l'IA. Il en est de même pour les facteurs « élevage » et « type d'insémination ». Les p-value de ces tests sont strictement inférieures à 0,001. L'élevage et le type d'insémination ne sont donc pas indépendants l'un par rapport à l'autre, de même pour le nombre de jours post-partum et le rang de l'IA. Seuls les nombres de jours écoulés depuis le vêlage ainsi que la variable « élevage » seront conservés dans l'élaboration du modèle multivarié et représenteront respectivement le rang de l'IA et le type d'IA.

Dans l'analyse multivariée, l'élevage est pris en compte comme facteur aléatoire ainsi que quatre autres facteurs : la production laitière, le nombre de jours post-partum, la saison et le délai écoulé entre l'alarme et l'IA. La probabilité de réussite indiquée par la machine présente, au test du chi2, une p-value supérieure à 0,2 ( $p\text{-value} = 0,3$ ). En raison de son importance dans notre étude, ce paramètre est conservé lors de l'élaboration du modèle. Parmi tous ces paramètres, seul le nombre de jours post-partum a révélé un effet significatif sur la réussite à l'IA ( $p = 0,005$ ) à l'issue de l'analyse multivariée. La saison, quant à elle, tend à influencer le modèle avec une différence significative proche de 0,05 ( $p = 0,069$ ) et elle est donc conservée dans le modèle.

Cependant, la qualité du modèle généré n'est pas complètement satisfaisante. En effet, la figure 26 met en évidence une courbe ROC très proche de la diagonale avec une aire sous la courbe (AUC) de 0,57. De plus, l'intervalle de confiance de l'AUC comprend 0,5 (0,49 – 0,66). Ce qui laisse penser que le modèle prédit la réussite à l'IA à peine mieux que le hasard. Le taux d'erreur de classement de 45% et la p-value du test d'Hosmer et Lemeshow supérieure à 0,02 ( $p = 0,07$ ) soulignent encore les faibles performances du modèle.



*Tracé noir : courbe ROC, en bleu la représentation de l'intervalle de confiance de la courbe (0,49 – 0,7), Tracé orange : courbe avec AUC = 0,5, cette courbe représente le résultat du modèle qui met en évidence l'influence du nombre de jours post-partum et de la saison sur la réussite de l'IA*

Figure 26 : Courbe ROC pour la modélisation de la réussite à l'IA

## IV - DISCUSSION

### 3.1. Représentativité de la population étudiée

Les données de l'étude s'étendent de 2013 à 2016. Le nombre moyen de vaches Prim'Holstein en lactation par troupeau au sein de notre étude est de 81 vaches, ce qui est supérieur à la moyenne française qui s'élève pour la campagne de 2015 - 2016 à 64 vaches Prim'Holstein par élevage ([www.reproscope.fr](http://www.reproscope.fr)).

La moyenne de la production laitière quotidienne sur les huit élevages est de 32 kg de lait par jour (tableau 10), alors que la moyenne française donnée par le Contrôle Laitier de 2015 en race Prim'Holstein est seulement de 27,1 kg par jour ([www.primholstein.com](http://www.primholstein.com)). Ceci peut s'expliquer par le fait que les vaches de l'étude sont traitées en moyenne 2,7 fois par jour (accès au robot de traite toute la journée), alors que la majorité de la population de vaches Prim'Holstein en France sont traitées en salle de traite que deux fois par jour. Une hausse de 3% (de 0 à 20%) de la production laitière est observée lors du passage au robot de traite pour les élevages équipés depuis moins de 2 ans et il s'élève à 9 % pour ceux équipés depuis plus de 2 ans (Veysset et al. 2001).

Tableau 14 : Comparaison des performances de reproduction des élevages de l'étude avec les données obtenues en France métropolitaine

<sup>1</sup>Données issues des cycles inclus dans l'étude, <sup>2</sup> Données issues du site [www.reproscope.fr](http://www.reproscope.fr) campagne 2015-2016 sur toutes les vaches Prim'Holstein mises à la reproduction, <sup>3</sup> Résultats issus de l'étude de Le Mezec et al. (2014) : résultats de la campagne de 2012 pour les vaches de race Prim'Holstein, <sup>4</sup> Toutes espèces de vaches laitières confondues ([www.reproscope.fr](http://www.reproscope.fr))  
IA1 : première insémination, IA : insémination artificielle, IVV : intervalle vêlage-vêlage, IV-IA1 : Intervalle vêlage – première insémination

	Élevages de l'étude <sup>1</sup>	Troupeaux laitiers <sup>4</sup>	Troupeau Prim'Holstein	
Taux de réussite en IA1	42,3 %	52%	46% <sup>2</sup>	38% <sup>3</sup>
Taux de réussite à l'IA	44 %	/	/	37% <sup>3</sup>
Proportion de vache avec IA≥3	22 %	23%	25% <sup>2</sup>	27% <sup>3</sup>
IVV (jours)	421	421	431 <sup>2</sup>	422 <sup>3</sup>
IV-IA1	95	97	102 <sup>2</sup>	101 <sup>3</sup>

Le taux de réussite à la première insémination (TRIA1) est de 42%, ce qui est légèrement inférieur au résultat français (46% pour la campagne 2015 - 2016 en race Prim'Holstein, [www.reproscope.fr](http://www.reproscope.fr)). Cependant, ce taux est supérieur au résultat reporté par Le Mezec et al. (2014) pour la campagne de 2012, qui est de 38%.

Le taux de réussite à l'insémination (TRIA) dans l'étude est de 44%, supérieur à celui de l'année 2012 en France (37% selon Le Mezec et al. 2014). En revanche, la proportion de vaches nécessitant trois inséminations ou plus est de 22% dans l'étude alors qu'il s'élève à 25% pour les vaches Prim'Holstein en France pour la campagne de 2012 et à 27% pour celle de 2015 (Tableau 14).

De même, les données en termes de fécondité (intervalle vêlage – vêlage et intervalle vêlage – première IA) sont légèrement meilleures par rapport à celle des troupeaux laitiers Prim'Holstein français avec un IVV et un IV-IA1 un peu plus courts (Tableau 14).

Les élevages considérés dans l'étude sont représentatifs de la population de vaches Prim'Holstein française. En effet, les performances de reproduction en termes de fertilité et de fécondité dans la population étudiée sont proches des résultats français (Tableau 14).

### 3.2. La réussite à l'IA et le résultat du modèle

La mesure de la concentration en progestérone dans le lait a pour but d'améliorer la détection des chaleurs en détectant la lutéolyse. Ceci permet de cibler le moment de l'ovulation afin de pouvoir inséminer au bon moment et donc d'améliorer le taux de réussite à l'IA. Or, comme vu précédemment et présenté dans le tableau 14, les résultats en termes de fertilité et de fécondité des élevages de l'étude ne sont pas supérieurs à ceux de la population de vaches Prim'Holstein françaises : l'utilisation du système Herd Navigator® ne confère pas un avantage pour l'amélioration des performances de reproduction. Cependant, les résultats pour les années précédentes ne sont pas connus. Il est possible que ces derniers soient moins bons avant la mise en place du système Herd Navigator® et que son installation ait permis de les améliorer.

De même, depuis quelques années les performances de reproduction des élevages laitiers pour les vaches Prim'Holstein, ont cessé de diminuer et se sont stabilisés (Le Mezec et al. 2017). Ceci est dû notamment à la modification des index génétiques mais aussi aux pratiques d'élevages et à l'amélioration de la détection des chaleurs, aujourd'hui souvent assistées (podomètre, activité-mètre... abordé dans la première partie). Si le système Herd Navigator® ne permet pas d'obtenir des performances de reproduction qui surpassent les résultats à l'échelle nationale, il permet cependant aux éleveurs de rester dans la course aux meilleures performances.

La reprise de cyclicité de la vache est identifiée grâce à la mesure de la concentration en progestérone. Il est généralement conseillé d'exploiter le second cycle plutôt que le premier (Darwash et al. 1997, Friggens et Labouriau 2010). Grâce au système Herd Navigator®, chaque cycle après vêlage est connu, l'éleveur peut donc décider le numéro du cycle après vêlage qu'il exploitera pour la première IA. Les IA1 sont réalisées entre 46 et 323 jours post-partum avec une moyenne de 95 jours contre 102 jours dans la population Prim'Holstein française. Le système n'est donc pas utilisé par les éleveurs dans un but d'avancer le moment de la première IA : les intervalles IVV et IV-IA1 de l'étude sont similaires à ceux observés en France (Tableau 14).

L'utilisation du système Herd Navigator® aide l'éleveur à détecter les chaleurs et fournit un avantage par rapport au podomètre ou activité-mètre pour certaines vaches qui pourraient présenter des chaleurs silencieuses. Associé au robot de traite, il confère un gain de temps sur certaines activités car le temps de traite est supprimé et le temps d'observation est diminué.

L'élaboration du modèle met en évidence deux facteurs pour prédire la réussite de l'insémination : les jours post-partum et la saison. Néanmoins, le modèle est peu performant avec une AUC de 0,57 et un taux d'erreur de classement de 45% (Figure 25). Les variables prises en compte dans cette étude ne permettent pas de prédire correctement la réussite ou l'échec de l'insémination pour un individu donné.

Cependant des résultats similaires ont été trouvés dans l'étude de Blavy et al. (2018) qui élabore un modèle de prédiction de la réussite à l'IA, réalisée à la suite de l'alarme « chaleurs ». Les facteurs considérés sont : le moment de l'insémination, la parité, la production laitière, la durée du cycle précédant celui exploité. L'AUC est de 0,58 sans la variable élevage et une AUC de 0,63 avec. Ces résultats sont proches de ce que nous avons obtenu.

### 3.3. Facteurs de variation de la réussite de l'insémination

Les analyses statistiques univariées mettent en évidence cinq facteurs pouvant influencer la réussite de l'insémination : l'élevage (relié au type d'insémination), la production laitière, le nombre de jours post-partum (en lien direct avec le numéro de l'IA), la saison et le délai entre l'alarme et l'insémination. Cependant le modèle statistique final montre que seulement deux paramètres font varier le taux de réussite de l'IA : le nombre de jours post-partum et la saison.

#### Élevages et type d'insémination :

La réussite à l'insémination varie de manière importante en fonction des élevages. Celle-ci est plus importante en moyenne pour les deux élevages pratiquant l'IPE (54% contre 42% de réussite pour les élevages ayant recours à un centre d'insémination). Cependant, un des deux élevages est celui ayant le meilleur taux de réussite à l'IA et l'autre le moins bon (67% pour l'élevage 6 contre 22% pour l'élevage 4). Il n'est alors pas possible de conclure quant à la supériorité de ce mode d'insémination dans la mesure où l'effet IA est confondu avec l'effet élevage. D'autres facteurs intrinsèques à l'élevage (pratique d'élevage, alimentation, pathologies...) peuvent également contribuer à expliquer ces différences.

#### La production laitière :

Dans cette étude, la production laitière n'influence pas la réussite de l'insémination (facteur non présent dans le modèle,  $p > 0,05$ ). De même, dans l'étude de Michel et al. (2013), l'odd ratio entre la production laitière et la réussite de l'IA est proche de 1, montrant ainsi l'indépendance des deux facteurs.

Cependant d'autres études montrent que la production laitière a une influence sur la fertilité (Butler et al. 2003, Löf et al. 2014, Blavy et al. 2018). Inchaisri et al. (2010) montrent que c'est le pic de production qui influence le TRIA : une insémination avant le pic de production présente un pourcentage de réussite de 39% contre 44% après. En effet, la réussite de l'insémination ne semble pas dépendre de la catégorie de production laitière de la vache (forte

ou faible productrice en moyenne sur une saison de lactation), mais bien de la production laitière au moment de l'insémination par rapport à sa production de base.

Dans notre étude, le moment du pic de lactation n'est pas mis en évidence par rapport au moment de l'insémination, seule la production laitière est reportée. De plus, la production laitière au moment du pic influencera la réussite de la première insémination car celle-ci est réalisée généralement pendant la période de forte production ce qui n'est pas le cas des inséminations de rang supérieur ou égal à deux. Il est possible que la majorité des inséminations de l'étude n'ait pas lieu au moment du pic de lactation ce qui expliquerait que la production laitière n'influence pas la réussite à l'IA dans l'élaboration du modèle.

L'effet du pic de lactation sur la réussite de l'insémination peut s'expliquer par le fait que les vaches laitières fortes productrices ou les vaches au moment du pic de production ont un besoin énergétique important et associé généralement à un bilan énergétique négatif. Selon Butler et al. (2003), un bilan énergétique négatif a plusieurs effets à l'origine d'une baisse de fertilité. Tout d'abord la fréquence des pulses de LH qui induit la reprise de la cyclicité diminue lors de déficit énergétique (Lucy et al. 2001) ainsi que la sensibilité ovarienne à ces pulses (Butler et al. 2003). L'ovocyte est de moins bonne qualité et le développement de l'embryon en sera affecté. La concentration en progestérone post-ovulation est également moindre et/ou son augmentation est retardée. Cette insuffisance absolue ou relative est à l'origine d'une mortalité embryonnaire plus importante (Butler et al 2003, Blavy et al. 2018). Ce bilan énergétique est en général reflété par la note d'état corporel de l'individu (Butler et al. 2003) : une augmentation d'une unité de la note d'état corporel (allant de 1 à 5) permet une augmentation du taux de réussite à l'IA de 8 à 10 % (Stevenson et al. 1999).

Cependant un haut rendement laitier n'est pas toujours associé à un déficit énergétique et à une diminution de la note d'état corporel si l'alimentation est bien gérée (Lucy et al. 1992 cité par Butler et al. 2003). Ceci pourrait expliquer l'absence d'influence de la production laitière sur la réussite à l'IA dans certaines études.

D'autres études (Pinto et al. 2000, Buckley et al. 2003b, Löff et al. 2014) montrent que c'est la composition du lait qui influence la fertilité, plus que la production, car celle-ci témoigne du statut énergétique de la vache. En effet, la composition du lait (taux butyreux / taux protéique) peut être un indicateur du statut énergétique des vaches en période post-partum (Grieve et al. 1986, Löff et al 2014). Un taux protéique (TP) moyen élevé le mois de l'insémination est associé à un meilleur TRIA (Pinto et al. 2000). Löff et al. (2014) ont également montré qu'une faible valeur du rapport taux butyreux sur taux protéique du lait (TB/TP) était à l'origine de l'amélioration de la fertilité. Le rapport TB/TP est représentatif du bilan énergétique de la vache en lactation. Lors d'un bilan énergétique négatif, le taux butyreux augmente (mobilisation des graisses) et le taux protéique diminue, le rapport TB/TP augmente (Grieve et al. 1986). Or, comme vu précédemment, un bilan énergétique négatif est associé à l'ancœstrus post-partum et à une fertilité plus faible (Butler et al. 2003).

Des études ont tenté de montrer l'influence de la production laitière sur la réussite de l'IA en élaborant un modèle statistique mettant en corrélation plusieurs facteurs pouvant influencer la réussite de l'insémination (comme ceux présents dans notre étude) ainsi que la variable élevage. Les résultats obtenus corroborent avec ceux de notre étude : la corrélation entre la production laitière et la réussite de l'IA n'est pas mise en évidence dans un modèle statistique (Buckley et al. 2003a, Melandez et Pirodo 2007).

#### Le nombre de jours post-partum et le rang de l'insémination :

Les jours post-partum (JPP) et le rang de l'IA sont directement liés ( $p < 0,05$ , Figure 16) : le numéro de l'insémination augmente avec le nombre de jours post-partum. Cependant, le délai écoulé post-partum a un impact plus important sur la réussite de l'IA par rapport à son rang ( $p\text{-value\_JPP} < 0,01 < p\text{-value\_numéro\_IA}$ ).

Dans notre étude, pour une insémination réalisée entre 45 et 60 jours post-partum, la réussite est de 28%. Elle augmente de 12 points lorsque l'insémination est réalisée entre 60 jours et 120 jours (40% de réussite). Le TRIA1 augmente également avec le nombre de jours post-partum (Figure 19). Dans l'étude de Pinto et al. (2000), le nombre de jours post-partum influence la réussite de l'IA, avec une différence significative entre sa réalisation avant 70 jours ou après 90 jours ( $p < 0,05$ ).

L'influence du nombre de jours post-partum sur la réussite de l'IA est approuvée par plusieurs études (Darwash et al. 1997, Buckley et al. 2003a, Inshaisri et al. 2010, Friggens et Laberiau 2010, Löf et al. 2014). Les explications sont nombreuses. L'involution utérine aura eu lieu ce qui permet une meilleure implantation de l'embryon (Löf et al. 2014) et une plus faible mortalité embryonnaire (Pinto et al. 2000). D'autres études montrent que le numéro du cycle post-partum pour lequel est réalisé l'IA, a une influence (Darwash et al. 1997, Friggens et Labouriau 2010). Il est alors important que l'œstrus post-partum ne soit pas trop long, pour qu'au moins un cycle précède le cycle exploité par l'éleveur pour la première IA (Darwash et al. 1997, Butler et al. 2003). En effet la probabilité de réussite à l'insémination entre une insémination au premier œstrus post-vêlage par rapport à celle au deuxième est significativement différente ( $p = 0,008$ , Friggens et Labouriau 2010). Ce paramètre peut être déterminé grâce aux données de suivi individuel enregistrées par le Herd Navigator<sup>®</sup>: il s'agit de la date du premier passage de la concentration en progestérone du lait au-dessus de 5 ng/ml traduisant la survenue de la première ovulation. La reprise de cyclicité aurait pu être incluse dans l'élaboration du modèle de l'étude.

De plus, les objectifs de fécondité pour les éleveurs sont d'obtenir un intervalle vêlage – vêlage (IVV) le plus bas possible (<380 jours idéalement) qui dépendra directement de l'intervalle vêlage-IA fécondante (IV-IAF) qui doit idéalement être inférieur à 100 jours. L'IV-IA1 est lui-même influencé par l'intervalle entre le vêlage et la première IA et dépend alors de la réussite à l'IA1 : si cette dernière est fécondante alors l'IVV sera bon. Cependant si l'IA1 est réalisée trop tard et qu'elle n'est pas fécondante alors l'IV-IAF sera augmenté et des pertes économiques peuvent être associées. Selon l'étude de Hobé et Chastant-Maillard (2009), la production

laitière diminue de 234 litres par an pour 34 jours de plus d'intervalle vêlage-vêlage, ce qui représente 232€ de gain (33kg de lait par jour en moyenne avec le prix du lait de 335€ pour 1000 kg en 2018, [www.web-agri.fr](http://www.web-agri.fr)).

Inchaisri et al 2011b (étude réalisée aux Pays-Bas) ont essayé de quantifier les pertes et les bénéfices économiques pouvant être associés à un retard de reprise de cyclicité et à un intervalle vêlage – première insémination plus important. Dans cette étude la référence du nombre de jours post-partum était de 6 semaines et la perte économique s'élevait à 9€, 26€ et 52€ respectivement pour 9, 12 et 15 semaines post-partum. Plusieurs données ont été prises en compte : le prix du lait, le prix du veau, le prix de l'IA, la gestion du vêlage, et le coût de l'abattage. Cependant, cette étude conclut qu'il est difficile de déterminer le nombre de jours post-partum à conseiller d'un point de vue économique pour un troupeau car la production laitière ainsi que la persistance laitière ou alors le prix de l'abattage varient d'un individu à l'autre et qu'il est préférable de regarder à l'échelle individuelle plutôt qu'à l'échelle d'un troupeau.

Le bilan économique associé à un choix de première IA proche du vêlage est alors assez compliqué à quantifier. Un nombre de JPP de 45 à 60 jours est généralement recommandé pour laisser d'une part le temps à l'involution utérine mais également pour que le bilan énergétique se rééquilibre et redevienne positif (Butler et al. 2003, Fetraw et al 2007, Löf et al 2014). Cela permet également d'avoir une première IA au deuxième cycle (meilleure réussite à l'IA).

De plus, la durée du tarissement peut également influencer la réussite de l'insémination (Michel et al. 2003). Cette donnée aurait pu éventuellement être incluse dans l'étude.

### La parité :

En France, le rang moyen de lactation est de 2,5 en vaches laitières (Institut de l'élevage, résultat du contrôle laitier France 2016) alors qu'il est de 2 dans notre étude. Seulement 3% des femelles ont une parité supérieure ou égale à 5 dans notre population contre 11% dans la population de vache laitière française moyenne pour la campagne de 2016 (Institut de l'élevage, résultat du contrôle laitier France 2016, espèce bovine). La parité n'influence pas la réussite de l'insémination, au moins jusqu'à une parité de 7 (parité maximale). Ces résultats ont également été trouvés dans d'autres études essayant d'élaborer un modèle pour déterminer la réussite de l'insémination (Buckley et al. 2003a, Lane et al. 2014). Les données de la littérature sont cependant contradictoires : une étude d'Inshairi et al. (2010) montre qu'il existe une différence de réussite à l'IA entre les primipares et les multipares mais qu'au-delà aucune différence n'est observée. Alors que d'autres ont trouvé qu'en fonction du rang, la parité influence la réussite de l'IA (Raunet 2010, Pinto et al. 2000). D'autres montrent que la parité n'exerce aucune influence sur la fertilité jusqu'au rang 3, la fertilité diminuant au-delà du rang 4 (Mufti et al. 2010, Löf et al. 2014).



### La saison :

La saison tend à exercer une influence sur la fertilité ( $p=0,069$ , au sein du modèle, figure 18). La plus faible fertilité observée en été est attribuée entre autres au stress thermique. Les fortes températures inhibant l'expression du comportement de chaleurs, le pourcentage d'IA réalisées au mauvais moment augmente (Rensis et Scaramuzzi, 2003). Cependant l'inhibition du comportement d'œstrus n'intervient pas dans notre étude car la détection des chaleurs n'est pas basée sur l'observation mais sur la détection de la lutéolyse.

D'autres mécanismes sont mis en cause pour expliquer le rôle du stress thermique sur la fertilité. Les études se contredisent quant à l'influence de la température sur le pic de LH qui pourrait augmenter ou alors diminuer lors de fortes chaleurs (Rensis et Scaramuzzi, 2003). En revanche, la température a bien un effet sur la croissance des follicules et sur les vagues folliculaires. En effet, lors de stress thermique, le follicule dominant est plus petit et sa maturation ne sera pas optimale (Wilson et al. 1998). De plus, l'augmentation de température ambiante est à l'origine de la baisse de la concentration plasmatique de progestérone post-ovulation responsable d'une élongation insuffisante de l'embryon, limitant la reconnaissance maternelle de la gestation, aboutissant à la mort du conceptus (Wilson et al. 1998). Avec le système Herd Navigator<sup>®</sup>, il serait possible de vérifier cette hypothèse grâce aux valeurs de concentration en progestérone mesurée avant et après ovulation par le système.

D'autres études ont reporté les mêmes résultats montrant l'influence de la saison sur le taux de réussite à l'insémination (Darwash et al. 2010), souvent moins bon en été et meilleur en hiver (Inchaisri et al. 2010).

### La concentration en progestérone lissée et le choix du seuil d'alerte :

La concentration en progestérone considérée dans l'étude se trouve être la concentration en progestérone lissée donnée par le logiciel et non la concentration brute mesurée instantanément lors de la traite. Or, la valeur de la concentration en progestérone lissée de certaines vaches ne passe jamais sous le seuil de détection de la lutéolyse alors qu'elles sont bien en chaleur. Friggens et al. (2008) ont montré que 14% des vaches confirmées en œstrus présentent une courbe de concentration en progestérone lissée qui ne descend jamais sous le seuil de 4 ng/ml. Une explication possible de ce phénomène pourrait être liée au lissage des profils progestatifs. La nature même du lissage est qu'il résiste aux valeurs extrêmes. Ainsi, si la diminution des valeurs de concentration en progestérone est insuffisante, le profil lissé ne descendra pas en dessous du seuil de 5 ng/ml même lorsque la valeur de la concentration brute en progestérone est bien inférieure à ce seuil. En effet, c'était une des raisons de l'utilisation d'un seuil de 4 ng/ml au lieu de 3 ng/ml (Friggens et al. 2005, 2008). Friggens et al (2008) ont comparé les valeurs diagnostiques de différents seuils : le choix de la valeur seuil de 6 ng/ml permettait de détecter 99% des œstrus contre 85% avec une valeur seuil de 5 ng/ml.

Le système Herd Navigator<sup>®</sup> utilise un seuil de concentration en progestérone dans le lait de 5 ng/ml. Au moment de la lutéolyse, la concentration en progestérone chute. L'alarme se

déclenche à la traite qui suit le passage sous 5 ng/ml. En conséquence, elle se déclenche à des délais variables par rapport au passage sous le seuil de détection mais aussi pour des valeurs de concentration en progestérone lissée différentes, allant de 0,38 ng/ml à 4,99 ng/ml. On peut donc s'interroger sur la relation entre la concentration de progestérone lors de l'alarme (passage au robot de traite) et le taux de réussite de l'IA. Dans notre étude, la réussite de l'insémination n'est pas significativement différente entre les IA réalisées lorsque la concentration en P4 lissée est inférieure à 3 ng/ml ou entre 3 ng/ml et 5 ng/ml (respectivement 46% et 43%,  $p > 0,05$  - figure 12).

De plus, 407 inséminations sont réalisées lorsque la valeur de concentration en progestérone au moment de l'alarme se trouve entre 3 ng/mL et 5 ng/mL, ce qui représente 70% des cycles de l'étude (figure 12). Donc, si la valeur seuil de concentration en progestérone avait été de 3 ng/ml, un grand nombre de vaches n'auraient pas été inséminées alors qu'elles étaient bien en chaleurs.

### 3.4. Fenêtre optimale d'IA

La fenêtre maximale d'insémination entre l'alarme et l'IA s'étend de 1 heure à 4 jours. Cependant certaines valeurs peuvent être considérées comme extrêmes. Elles représentent seulement 2% des cycles (figure 24). L'intervalle proposé peut alors être réduit à 56 heures : entre 16 heures et 3 jours après l'alarme « chaleurs ». Dans l'intervalle considéré une fenêtre d'insémination plus restreinte ne peut être proposée pour optimiser la réussite de l'IA. Entre 16 heures et 3 jours après l'alarme, le taux de réussite à l'insémination est constant.

Dans l'étude de Blavy et al. (2018), la moyenne optimale pour avoir la meilleure fertilité est de 2,57 jours entre l'alarme et l'insémination (seuil pour l'alarme pris à 4 ng/ml). Cependant, l'heure exacte de l'insémination n'a pas été notée par l'éleveur ou l'inséminateur comme dans notre étude. Il est alors délibérément choisi dans leur étude de noter l'insémination à 12h00. Étant donnée la faible précision de l'heure de l'insémination, le délai alarme-insémination moyen déterminé dans l'étude pour maximiser la réussite de l'insémination est à modérer. En effet, cette valeur varie à plus ou moins 12 - 24 heures.

#### Pourquoi la fenêtre optimale de l'IA est-elle si large ?

Plusieurs paramètres peuvent expliquer que l'intervalle de temps entre l'alarme et l'insémination pour obtenir une insémination fécondante soit si large.

L'intervalle lutéolyse – ovulation est particulièrement variable et large par rapport à celui entre le pic de LH et l'ovulation vu précédemment (partie 1). Le passage de la concentration en progestérone dans le lait sous la valeur seuil de 5 ng/ml s'étend de 54 à 98 heures avant l'ovulation, ce qui représente un intervalle variable de presque 48 heures (Roelofs et al. 2006). Endo et al. (2012) trouvent une durée de  $4,6 \pm 0,5$  jours entre l'initiation de la lutéolyse et l'ovulation. L'initiation de la lutéolyse est déterminée dans cette étude par la diminution de la

taille du corps jaune (détectée par échographie) et par la chute de 50% de la concentration en progestérone dans le plasma (dosage immunoenzymatique, Prakash et al. 1987). La grande variabilité de l'intervalle qui sépare la lutéolyse de l'ovulation est due à la variabilité de la taille du follicule dominant pendant la lutéolyse, qui représente une source de variation naturelle de la durée de la phase folliculaire (Sirois et Fortune 1988).

De plus, l'alarme est déclenchée à des délais variables après l'initiation de la lutéolyse puisqu'elle correspond à la première traite avec un taux de concentration en progestérone lissée strictement inférieur à 5 ng/ml. La traite interviendra à un moment plus ou moins proche du début de la lutéolyse. Cet intervalle de temps ne peut être maîtrisé car il dépend uniquement du moment où la vache décide de passer à la traite.

En plus de la variabilité du moment de la détection de la lutéolyse qui dépend du moment de la traite, le niveau de production laitière fait également varier la valeur de la concentration en progestérone du lait et donc la détection des chaleurs. Un haut rendement laitier abaisse les concentrations en progestérone en raison d'une plus grande clairance hépatique (Wiltbank et al. 2006, Blavy et al. 2018). Les fortes productrices vont avoir un métabolisme élevé à l'origine d'une diminution des concentrations circulantes en œstrogènes et progestérone (Wiltbank et al. 2006). La progestérone est éliminée plus rapidement de la circulation sanguine et par conséquent la concentration dans le lait est plus faible. Cela signifie que la progestérone atteint le seuil de 5 ng/mL plus tôt chez les hautes productrices (taux de clairance élevés) par rapport à des vaches avec une production laitière plus faible (Blavy et al. 2018). Ceci fait varier cet intervalle de plusieurs heures. Il est alors conseillé pour les vaches identifiées comme fortes productrices de décaler le moment de l'insémination d'une demi-journée plus tard (Blavy et al. 2018).

De plus, il existe plusieurs étapes entre l'initiation de la lutéolyse et la rencontre des gamètes. Ces étapes présentent des intervalles de temps variables et pour lesquelles les données sont assez vagues.

La fenêtre d'insémination est assez large car elle doit également tenir compte du temps nécessaire à la remontée des spermatozoïdes au tiers supérieur de l'oviducte, de l'ordre de 8 heures (Dauzier et al. 1959, Hunter et al. 1983, Hawks 1987, Dalton et al. 2010), du temps de capacitation des spermatozoïdes de 6 – 8 heures ainsi que de la conservation possible des spermatozoïdes dans la région caudale de l'isthme. En effet, le réservoir de spermatozoïdes chez la vache se trouve dans la région caudale de l'isthme (Hawks 1987, Kölle et al. 2009, Hunter 2009), dans laquelle se trouve une température plus basse en moyenne de 0,7°C permettant la conservation plus longue des spermatozoïdes (0,2°C à 1,6°C, Hunter 2009). Ils peuvent y séjourner jusqu'à 8 heures sans perdre leur capacité à féconder (Hawks 1987).

La durée de survie des spermatozoïdes dans les voies génitales femelles, est l'une des données la plus variable et pour laquelle peu d'informations sont fournies. Leur durée de fécondance n'a pas été déterminée avec précision étant données la difficulté technique de la mesure et l'hétérogénéité de cellule que peut avoir un même éjaculat (Diskin et al. 2018). En effet, un

éjaculat comporte plusieurs cellules qui ont une durée de vie différente qui dépend à la fois des propriétés intrinsèques de l'éjaculat mais également de l'environnement utérin (Diskin et al 2018). En plus de cette variabilité, une différence majeure existe entre deux éjaculats de deux taureaux différents (Buckley et al. 2003a). Le taureau choisi influence la réussite de l'IA qui peut varier jusqu'à 32 unités (différence de pourcentage de réussite à l'IA) entre les meilleurs taureaux et les moins bons (Buckley et al. 2003a).

En revanche, le type de semence (congelée ou fraîche) n'influe pas sur la qualité du sperme. Aujourd'hui la différence entre une semence fraîche et une semence congelée est moins visible du fait des techniques de congélation qui ont été nettement améliorées depuis quelques années (Buckley et al. 2003a).

### Comment déterminer cette fenêtre ?

Il est important de bien cibler le moment de l'insémination par rapport à l'ovulation pour favoriser une meilleure fertilité. Or la fenêtre d'insémination est assez large car plusieurs facteurs font varier cet intervalle de temps. Le moment de la détection de la lutéolyse varie en fonction de la traite ainsi que la production laitière. Une fois détectée, le moment de l'ovulation ainsi que la rencontre des gamètes peuvent varier puisqu'il est difficile de connaître précisément le temps de survie des spermatozoïdes dans les voies génitales femelle. D'après les données de la littérature et les connaissances sur la physiologie de la reproduction, il est cependant possible d'ajuster cette fenêtre.

La durée de vie de l'ovocyte (au sens de sa fécondabilité et de sa capacité à assurer un développement embryonnaire normal) est estimé à 6 - 12 heures après l'ovulation (Trimberger 1948, Thibault 1967, 1973). La fécondation d'un ovocyte âgé aboutit plus fréquemment à la formation d'un embryon non viable par rapport à un ovocyte plus jeune (Baker et Polge, 1976, Roelofs et al. 2006a, Dalton et al. 2010). Certains auteurs associent ce phénomène à la diminution de la perméabilité de la zone pellucide pour les ovocyte âgés associé à une polyspermie et à un mauvais développement du zygote (Baker et Polge, 1976, Roelofs et al. 2006a). Une insémination tardive par rapport à l'ovulation (très proche ou après l'ovulation) est alors à l'origine d'une rencontre des gamètes avec un ovocyte âgé et une diminution de fertilité. Cette diminution représente à la fois les cas de non fécondation mais aussi les cas de morts embryonnaires précoces (Baker et Polge 1976, Dalton et al. 2010, Roelofs et al. 2006a).

Selon ces données, il est alors conseillé d'inséminer à un minimum de 6 – 8 heures avant l'ovulation pour laisser le temps aux spermatozoïdes de remonter la corne utérine pour que la fécondation ait lieu avec un ovocyte jeune. De plus, le temps de fécondance des spermatozoïdes étant plus long et leur conservation étant possible dans la région caudale de l'isthme, cet intervalle de temps peut être augmenté. En effet, il est encore possible de trouver, 12 à 24 heures après l'insémination, des spermatozoïdes encore fécondants dans l'appareil génital femelle (Hawks 1987).

Les données qui concernent le moment de l'insémination par rapport à l'ovulation pour une meilleure réussite à l'insémination permettent d'appréhender le temps de survie des spermatozoïdes dans les voies génitales femelles (tableau 10). En effet, Roelofs et al. (2005) obtiennent des taux de réussite à l'insémination de l'ordre de 82% lorsque l'insémination (en semence congelée) est réalisée entre 24 et 36 heures avant l'ovulation. Selon cette étude, la durée de fécondance des spermatozoïdes est alors au minimum de 36 heures dans le tractus femelle. Cependant Sales et al. (2011) et Hockey et al. (2010) ont des données plus courtes en ce qui concerne la meilleure période pour inséminer avant ovulation : entre 0 et 16 heures.

La deuxième difficulté est de cibler le moment de l'ovulation par rapport à la lutéolyse. On pourrait penser que le choix du seuil choisi pour la détection de la lutéolyse pourrait influencer cette fenêtre et sa réduction permettrait de rétrécir la fenêtre optimale de l'insémination. Or, une étude de Roelofs et al. (2006a) montre que le choix d'un seuil de concentration en progestérone inférieur ne permet pas de réduire la taille de cet intervalle : si le repère est pris à 2 ng/ml le délai entre le passage du seuil et l'ovulation est de 52 heures (38 à 90 heures), contre 48 heures pour un seuil à 5 ng/ml. La diminution de la valeur seuil de la concentration en progestérone dans le lait n'améliore donc pas la prédiction du moment de l'ovulation (Roelofs et al. 2006a).

Le système Herd Navigator<sup>®</sup> ne définit pas une fenêtre restreinte optimale pour l'IA. Cela signifie que le système avertit que la vache doit être inséminée mais ensuite l'éleveur a une certaine liberté pour réaliser l'insémination (de 16 heures à 3 jours). Ce qui est assez pratique car 86% des éleveurs de l'étude ont recours à un CIA, l'IA ne peut pas être réalisée n'importe quand dans la journée. Cependant, connaissant la physiologie de la rencontre des gamètes, il est conseillé de ne pas inséminer à un moment trop proche de l'ovulation, il est donc favorable de ne pas attendre trop longtemps après l'alarme pour inséminer. De plus, il est nécessaire de ne pas inséminer à un intervalle excédant les 4 jours : intervalle maximal entre la lutéolyse et l'ovulation (Roelofs et al. 2006a, Endo et al. 2012). Dans notre étude, aucun intervalle alarme – IA excède les 4 jours ceci peut expliquer le fait que ce délai n'influence pas la réussite de l'IA.

### 3.5. L'index probabilité de réussite de l'insémination

Le système Herd Navigator<sup>®</sup> fournit également à chaque déclenchement d'alarme une probabilité de réussite de l'IA. Les éleveurs se fient en partie au système puisque plus de la moitié des inséminations (57%) sont réalisées lorsque le système affiche une probabilité que la vache soit en chaleur entre 80% et 88% (figure 15). Néanmoins, dès l'analyse univariée, aucun lien n'est apparu entre le niveau de probabilité de réussite et le TRIA ( $p=0,31$ ). Compte tenu de l'importance que nous donnions à ce paramètre, il a été maintenu dans le modèle final. La sélection pas-à-pas descendante aboutit à la conclusion que cette variable n'est finalement pas associée à la réussite de l'IA. Une insémination réalisée lorsque le système annonce une probabilité « chaleurs » inférieure à 60 % peut s'avérer aussi fécondante que celle réalisée lorsqu'il annonce 88%. En pratique, ce chiffre de « probabilité chaleurs » n'est donc pas un critère fiable pour assister l'éleveur dans la prise de décision d'inséminer une vache ou non

(Figure 15). Il est donc important de prévenir l'élève de se méfier de cette donnée qui n'est pas prédictive de la réussite de l'IA.



## CONCLUSION

Les performances de reproduction des élevages de l'étude, équipés du système Herd Navigator<sup>®</sup>, sont similaires aux résultats moyens en élevages Prim'Holstein en France métropolitaine. De plus il est difficile de prédire la réussite de l'insémination avec les facteurs considérés, il en est de même pour la probabilité de réussite fournie par le système qui n'est pas un bon indicateur. L'insémination peut être effectuée à un intervalle de temps de 16 heures à 3 jours post alarme sans que la réussite de l'insémination en soit affectée. L'augmentation de la fréquence de traite au robot permet d'augmenter la production laitière annuelle.

Plus coûteux que la plupart des systèmes d'aide à la détection des chaleurs, il est important que les raisons poussant l'éleveur laitier à investir dans un robot de traite équipé de ce système soient les bonnes. S'il reste encore à démontrer qu'il contribue à augmenter les performances de reproduction, le système Herd Navigator<sup>®</sup> fournit une aide à la détection des chaleurs mais aussi au diagnostic de gestation et à la détection des troubles ovariens (kyste, anœstrus), métaboliques (cétose) et inflammatoire. La reprise de cyclicité est également connue grâce à ce système ce qui permet aux éleveurs de connaître le numéro du cycle exploité par l'IA.

Ce système permet d'alléger la charge de travail et la charge mentale de l'éleveur. Une simple analyse technico économique ne permet donc pas à l'éleveur d'évaluer l'intérêt d'un tel investissement (Veysset et al. 2001).



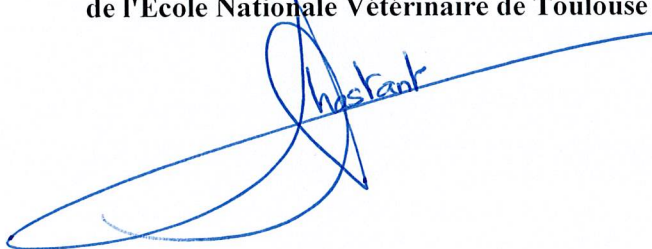


**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

**En vue de l'obtention du permis d'imprimer de la thèse de doctorat vétérinaire**

Je soussignée, **Sylvie CHASTANT**, Enseignant-chercheur, de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, directeur de thèse, certifie avoir examiné la thèse de **Loïse CORBRION-MOURET** intitulée «**Influence du moment de l'insémination artificielle sur le taux de réussite chez la vache laitière**» et que cette dernière peut être imprimée en vue de sa soutenance.

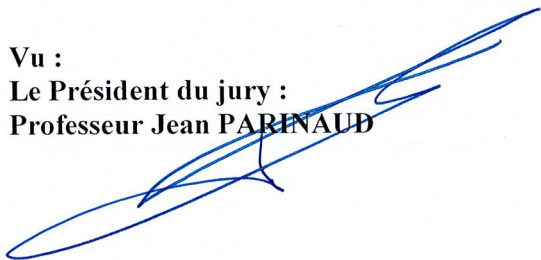
Fait à Toulouse, le 5 septembre 2018  
Professeur Sylvie CHASTANT  
Enseignant chercheur  
de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse



Vu :  
La Directrice de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse  
Isabelle CHMITELIN



Vu :  
Le Président du jury :  
Professeur Jean PARINAUD



Vu et autorisation de l'impression :  
Président de l'Université  
Paul Sabatier  
Monsieur Jean-Pierre VINEL



Le Président de l'Université Paul Sabatier  
par délégation,  
La Vice-Présidente de la CFVU  
Regine ANDRE-OBRECHT

Mlle Loïse CORBRION-MOURET  
a été admis(e) sur concours en : 2013  
a obtenu son diplôme d'études fondamentales vétérinaires le : 04/07/2017  
a validé son année d'approfondissement le : 18/07/2018  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.



## BIBLIOGRAPHIE

- AHMED, M., CHOWDHURY, M. K., RAHMAN, M. M., BHATTACHARJEE, J. & BHUIYAN, M. M. U. 2018. Relationship of electrical resistance of vaginal mucus during oestrus with post-AI pregnancy in cows. *Bangladesh Journal of Veterinary Medicine* 15:113-117.
- ASMUSSEN T., 2010, Herd Navigator or “How to benefit from frequent measurements”, *Proceeding ICAR 37<sup>th</sup> Annual Meeting* – Riga, Latvia, 31 mai au 4 juin 2010, 291/293
- BAKER, R. D. & POLGE, C. 1976. Fertilization in swine and cattle. *Canadian Journal of Animal Science* 56:105–119.
- BAYRIL, T., YILMAZ, O. & CAK, B. 2016. Effect of timing of artificial insemination relative to spontaneous estrus on reproductive performance and calf gender ratio in repeat breeder Holstein cows *The journal of Animal and Plant science* 26:924-930.
- BEE, C. 2014. Utilisation d’un test détectant le pic de LH (PREDI’BOV®) dans le cadre de l’insémination artificielle, chez la vache laitière. Thèse doctorat Vétérinaire, Alfort.
- BERNARD, C. & VALET, J. P. 1984 Prediction de l’ovulation chez le bovin par dosage rapide de la LH plasmatique et observation de l’ovulation par laparoscopie, *Canadian Journal of Comparative Medecine* 48:97-105
- BLAVY, P., FRIGGENS, N. C., NIELSEN, K. R., CHRISTENSEN, J. M. & DERKS, M. 2018. Estimating probability of insemination success using milk progesterone measurements. *Journal of Dairy Science* 101:1648–1660.
- BLOCH, A., FOLMAN, Y., KAIM, M., ROTH, Z., BRAW-TAL, R. & WOLFENSON, D. 2006. Endocrine Alterations Associated with Extended Time Interval Between Estrus and Ovulation in High-Yield Dairy Cows. *Journal of Dairy Science* 89:4694–4702.
- BOUCHARD E., CARRIERE J., PICARD-HAGEN N., LEBLANC S., DUBUC J., ENJALBERT F., BRODEUR M., ROY J.P., BERTHELOT X., DISENHAUS C., VAILLANCOURT D., LEFEBVRE R., BOUSQUET D., STOCK A., NOUVEL X., GIRARD C, SEEGER H., BAREILLE N., OPSOMER G. & DESCOTEAUX L. 2012 Gestion de la reproduction à l’échelle du troupeau et mesures préventives. *Chapitre 5. In : Vademecum de gestion de la reproduction des bovins laitiers, 145-240.* Edition Medcom, Paris
- BRITT, J. H., SCOTT, R. G., ARMSTRONG, J. D. & WHITACRE, M. D. 1986. Determinants of estrous behavior in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 69:2195–2202.
- BUCKLEY, F., MEE, J., O’SULLIVAN, K., EVANS, R., BERRY, D. & DILLON, P. 2003a. Insemination factors affecting the conception rate in seasonal calving Holstein-Friesian cows. *Reproduction Nutrition Development* 43:543–555.
- BUCKLEY, F., O’SULLIVAN, J. F. MEE, R. D. EVANS, AND P. DILLON. 2003b. Relationships among milk yield, body condition, cow weight, and reproduction in spring-calved Holstein-Friesians. *Journal of Dairy Science* 86:2308–2319.

- BUTLER, W. R. 2003. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows. *Livestock Production Science* 83:211-218
- CHASTANT-MAILLARD, S. & SAINT-DIZIER, M. 2015. Monitoring de l'ovulation chez la vache. *Bulletin des GTV* : 63-70.
- CHEVALLIER, A. & HUMBLLOT, P. 1998. Evolution des taux de non-retour après insémination artificielle : effet du contrôle du délai de mise à la reproduction sur les résultats de fertilité. *Rencontre Recherche Ruminants* 5:75-77.
- COLLECTIF D'AUTEURS. 2014. *Biologie de la reproduction des mammifères d'élevages*. Edition Educagri, Dijon
- DALTON, J. C., NADIR, S., BAME, J. H., NOFTSINGER, M., NEBEL, R. L. & SAACKE, R. G. 2001. Effect of Time of Insemination on Number of Accessory Sperm, Fertilization Rate, and Embryo Quality in Nonlactating Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 84:2413-2418.
- DALTON J. C., NADIR S., NOFTSINGER M., SAACKE R.G., 2010 Insemination related factors affecting fertilization in estrous-synchronized cattle *Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle*, San Antonio, TX, 28-29 Janvier 2010, 193-202
- DARWASH, A.O., LAMMING, G.E., WOOLLIAMS, J.A., 1997. The phenotypic association between the interval to post-partum ovulation and traditional measures of fertility in dairy cattle. *Anim. Sci.* 65, 9-16.
- DAUZIER, L. 1959. Physiologie du déplacement des spermatozoïdes dans les voies génitales femelles chez la brebis et la vache (suite). *Annales de Zootechnie* 8:5-37.
- DAUZIER, L. & WINTENBERGER, S. 1952. La vitesse de remontée des spermatozoïdes dans le tractus génital de la brebis. *Annales de Zootechnie* 1:13-22.
- DISKIN, M. G. & SREENAN, J. M. 2000. Expression and detection of oestrus in cattle. *Reproduction Nutrition Development* 40:481-491.
- DISKIN, M. G. 2018. Review: Semen handling, time of insemination and insemination technique in cattle. *animal* 12:s75-s84.
- DOLECHECK, K. A., SILVIA, W. J., HEERSCHE, G., CHANG, Y. M., RAY, D. L., STONE, A. E., WADSWORTH, B. A. & BEWLEY, J. M. 2015. Behavioral and physiological changes around estrus events identified using multiple automated monitoring technologies. *Journal of Dairy Science* 98:8723-8731.
- DOUCET M., 2004. Techniques de détection de l'œstrus chez les vaches laitières, *Thèse pour le doctorat vétérinaire*, Alfort.
- DRANSFIELD, M. B. G., NEBEL, R. L., PEARSON, R. E. & WARNICK, L. D. 1998. Timing of Insemination for Dairy Cows Identified in Estrus by a Radiotelemetric Estrus Detection System. *Journal of Dairy Science* 81:1874-1882.

- ENDO, N., NAGAI, K., TANAKA, T. & KAMOMAE, H. 2012. Profiles of Ovarian Steroids, Luteinizing Hormone and Estrous Signs from Luteolysis to Ovulation in Lactating and Non-lactating Dairy Cows. *Journal of Reproduction and Development* 58:685–690.
- FISHER, A. D., MORTON, R., DEMPSEY, J. M. A., HENSHALL, J. M. & HILL, J. R. 2008. Evaluation of a new approach for the estimation of the time of the LH surge in dairy cows using vaginal temperature and electrodeless conductivity measurements. *Theriogenology* 70:1065–1074.
- FRIGGENS, N. C. & CHAGUNDA, M. G. G. 2005. Prediction of the reproductive status of cattle on the basis of milk progesterone measures: model description. *Theriogenology* 64:155–190.
- FRIGGENS, N., BJERRING, M., RIDDER, C., HJSGAARD, S. & LARSEN, T. 2008. Improved Detection of Reproductive Status in Dairy Cows Using Milk Progesterone Measurements. *Reproduction in Domestic Animals* 43:113–121.
- FRIGGENS, N. C. & LABOURIAU, R. 2010. Probability of pregnancy as affected by oestrus number and days to first oestrus in dairy cows of three breeds and parities. *Animal Reproduction Science* 118:155–162.
- GRIEVE, D. G., S. KORVER, Y. S. RIJKEMA, AND G. HOF. 1986. Relationship between milk composition and some nutritional parameters in early lactation. *Livestock Production Science* 14:239–254.
- GUILLAUME, R. (2010). Analyse des résultats de reproduction d'élevages bovins laitiers de Haute-Normandie, suivis par la méthode Ecoplanning de 1988 à 2007, Thèse doctorat Vétérinaire, Toulouse
- GUPTA, K. A. & PUROHIT, G. N. 2001. Use of vaginal electrical resistance (VER) to predict estrus and ovarian activity, its relationship with plasma progesterone and its use for insemination in buffaloes. *Theriogenology* 56:235–245.
- HAWK HW 1987. Transport and fate of spermatozoa after insemination of cattle. *Journal of Dairy Science* 70:1487–1503.
- HEMMI, K., KOBAYASHI, I., KAJISA, M., KITAHARA, G., FUKUYAMA, K., HARADA, H. & KAMIMURA, S. 2013. Effects of AI protocol and time interval from onset of estrus to AI on conception rate in Japanese Black cows: AI protocol and timing on conception. *Animal Science Journal* 84:23–27.
- HOBÉ M., CHASTANT-MAILLARD S., 2009. Impact économique de la reproduction en système laitier, *Le point vétérinaire*, 40:135-139
- HOCKEY, C., MORTON, J., NORMAN, S. & MCGOWAN, M. 2010. Improved Prediction of Ovulation Time may Increase Pregnancy Rates to Artificial Insemination in Lactating Dairy Cattle: Pregnancy Rates may Improve by Timing AI with Ovulation. *Reproduction in Domestic Animals* 45:e239–e248.

- HUNTER, R. H. F. & WILMUT, I. 1983a. The rate of functional sperm transport into the oviducts of mated cows. *Animal Reproduction Science* 5:167–173.
- HUNTER RHF. (2009) Temperature gradients in female reproductive tissues and their potential significance. *Anim. Reprod.*, 6, 7-15
- INCHAISRI, C., HOGEVEEN, H., VOS, P. L. A. M., VAN DER WEIJDEN, G. C. & JORRITSMA, R. 2010. Effect of milk yield characteristics, breed, and parity on success of the first insemination in Dutch dairy cows. *Journal of Dairy Science* 93:5179–5187.
- INCHAISRI, C., JORRITSMA, R., VOS, P. L. A. M., VAN DER WEIJDEN, G. C. & HOGEVEEN, H. 2011. Analysis of the economically optimal voluntary waiting period for first insemination. *Journal of Dairy Science* 94:3811–3823.
- INGENHOFF, L., HALL, E. & HOUSE, J. 2016. Evaluation of a cow-side milk progesterone assay and assessment of the positive predictive value of oestrus diagnosis by dairy farmers in New South Wales. *Australian Veterinary Journal* 94:445–451.
- INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, 2017. Reproscope, Observatoire de la reproduction des bovins en France. <http://www.reproscope.fr/> consulté en Août 2018
- INSTITUT DE L'ÉLEVAGE, DOUGUET M., ASTRUC J.M., THOMAS G., 2017. Résultats de Contrôle Laitier France – Espèce Bovine - 2016, *Collection résultats*, Compte rendu 0017 201 002
- KÖLLE S, DUBIELZIG S, REESE S, WEHREND A, KÖNIG P, KUMMER W. – 2009 - Ciliary transport, gamete interaction, and effects of the early embryo in the oviduct: ex vivo analyses using a new digital videomicroscopic system in the cow. *Biologie de la Reproduction*, 81,267- 274.
- LACERTE G., BRYSON A., LORANGER Y., BOUSQUET D., 2003. La détection des chaleurs et le moment de l'insémination. Symposium sur les bovins laitiers, *Centre de référence en agriculture agroalimentaire du Québec*, Hôtel des seigneur, Saint-Hyacinthe, Québec
- LANE, E. A., CROWE, M. A., BELTMAN, M. E. & MORE, S. J. 2013. The influence of cow and management factors on reproductive performance of Irish seasonal calving dairy cows. *Animal Reproduction Science* 141:34–41.
- LE MEZEC, P. 2017. Fertilité des vaches laitières : C'est mieux - Bilan 1999 - 2015. *Institut de l'élevage* N° Technipel : L0070.
- LE MEZEC, P., BARBAT-LETERRIER, A., BARBIER, S., DE CREMOUX, R., GION, A. & PONSART, C. 2010a. Evolution de la fertilité et impact de la FCO sur la reproduction du cheptel laitier français. *Renc. Rech. Ruminants* 17:157–160.
- LE MEZEC, P., BARBAT-LETERRIER, A., BARBIER, S., GION, A. & PONSART, C. 2010b. Fertilité des principales races laitières - Bilan 1999 - 2008. *Institut de l'élevage*, *Compte rendu n° 001072030*.

- LE MEZEC, P. CHANVALLON A., BARBAT-LETERRIER A., GION A., BARBIER S. 2014. La fertilité des vaches laitières en 2012 : la semence sexée met son grain de sel *Fertilité des principales races laitières, Bilan 1999 – 2012, Institut de l'élevage, Compte rendu n°0014203038, N° Technipel : L0070*
- LEIDL, W. & STOLLA, R. 1976. Measurement of electric resistance of the vaginal mucus as an aid for heat detection. *Theriogenology* 6:237–249.
- LÖF, E., GUSTAFSSON, H. & EMANUELSON, U. 2014. Factors influencing the chance of cows being pregnant 30 days after the herd voluntary waiting period. *Journal of Dairy Science* 97:2071–2080.
- LÓPEZ-GATIUS, F. 2011. Feeling the ovaries prior to insemination. Clinical implications for improving the fertility of the dairy cow. *Theriogenology* 76:177–183.
- LÓPEZ-GATIUS, F., LABÈRNIA, J., SANTOLARIA, P., RUTLLANT, J. & LÓPEZ-BÉJAR, M. 1997. The relationship of rheological behavior of the vaginal fluid at the time of insemination to the pregnancy rate in dairy cows. *Theriogenology* 48:865–871.
- MAATJE, K., LOEFFLER, S. H. & ENGEL, B. 1997. Predicting Optimal Time of Insemination in Cows that Show Visual Signs of Estrus by Estimating Onset of Estrus with Pedometers. *Journal of Dairy Science* 80:1098–1105.
- MALTZ, E., DEVIR, S., METZ, J. H. M. & HOGEVEEN, H. 1997. The body weight of the dairy cow I. Introductory study into body weight changes in dairy cows as a management aid. *Livestock Production Science* 48:175–186.
- MARTINEZ, F., KAABI, M., MARTINEZ-PASTOR, F., ALVAREZ, M., ANEL, E., BOIXO, J. C., DE PAZ, P. & ANEL, L. 2004. Effect of the interval between estrus onset and artificial insemination on sex ratio and fertility in cattle: a field study. *Theriogenology* 62:1264–1270.
- MELLENDEZ, P. & PINEDO, P. 2007. The Association Between Reproductive Performance and Milk Yield in Chilean Holstein Cattle. *Journal of Dairy Science* 90:184–192.
- MICHAELIS, I., BURFEIND, O. & HEUWIESER, W. 2014. Evaluation of Oestrous Detection in Dairy Cattle Comparing an Automated Activity Monitoring System to Visual Observation. *Reproduction in Domestic Animals* 49:621–628.
- MICHEL, A., PONSART, C., FRERET, S. & HUMBLLOT, P. 2003. Influence de la conduite de la reproduction sur les résultats à l'insémination en période de pâturage *Renc. Rech Rum* 10 :131-135
- MUFTI M. M. R., ALAM M. K., SARKER M. S., BOSTAMI A. B. M. R., DAS N. G., 2010. Study on factors affecting the conception rate in red Chittagong cows, *Bang Journal Animal Science*, 39 (1&2) 52 : 57
- PALMER, M. A., OLMOS, G., BOYLE, L. A. & MEE, J. F. 2010. Estrus detection and estrus characteristics in housed and pastured Holstein–Friesian cows. *Theriogenology* 74:255–264.



- PATIL, S. R. & PAWSHE, C. H. 2011. Vaginal electrical resistance during different phase of estrus cycle in cows and heifers. *Indian Journal of Animal Reproduction* 32:58-60
- PINTO, A., BOUCA, P., CHEVALLIER, A., FRERET, S., GRIMARD, B. & HUMBLLOT, P. 2000. Sources de variation de la fertilité et des fréquences de mortalité embryonnaire chez la vache laitière. *Renc. Rech. Ruminants* 7:213-216.
- PRAKASH BS, MEYER HH, SCHALLENBERGER E, VAN DE WIEL DF. (1987) Development of a sensitive enzymeimmunoassay (EIA) for progesterone determination in unextracted bovine plasma using the second antibody technique. *J Steroid Biochem* 28: 623–627
- PRIM'HOLSTEIN FRANCE, Résultat du contrôle laitier 2015, <http://primholstein.com/2016/les-resultats-du-controle-laitier-2015/> consulté le 24 Juin 2018.
- R CORE TEAM. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing.
- RAUNET, G. 2010. Analyse des résultats de reproduction d'élevages bovins laitiers de Haute-Normandie, suivis par la méthode Ecoplanning de 1988 à 2007. *Thèse Doct Vét Toulouse*
- REDDEN, K. D., KENNEDY, A. D., INGALLS, J. R. & GILSON, T. L. 1993. Detection of estrus by radiotelemetric monitoring of vaginal and ear skin temperature and pedometer measurements of activity. *Journal of Dairy Science*:713–721.
- REITH, S., BRANDT, H. & HOY, S. 2014. Simultaneous analysis of activity and rumination time, based on collar-mounted sensor technology, of dairy cows over the peri-estrus period. *Livestock Science* 170:219–227.
- REITH, S. & HOY, S. 2012. Relationship between daily rumination time and estrus of dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95:6416–6420.
- RENSIS, F. D. & SCARAMUZZI, R. J. 2003. Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. *Theriogenology* 60:1139–1151.
- RISCO, C. A. 2004. Managing the postpartum cow to maximize pregnancy rates, *Proceeding, Florida Dairy Reproduction Road Show, Conference Gainesville, Florida* 10-21
- ROELOFS, J. B., VAN EERDENBURG, F. J. C. M., SOEDE, N. M. & KEMP, B. 2005a. Various behavioral signs of estrous and their relationship with time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology* 63:1366–1377.
- ROELOFS, J. B., VAN EERDENBURG, F. J. C. M., SOEDE, N. M. & KEMP, B. 2005b. Pedometer readings for estrous detection and as predictor for time of ovulation in dairy cattle. *Theriogenology* 64:1690–1703.

- ROELOFS, J. B., GRAAT, E. A. M., MULLAART, E., SOEDE, N. M., VOSKAMP-HARKEMA, W. & KEMP, B. 2006a. Effects of insemination–ovulation interval on fertilization rates and embryo characteristics in dairy cattle. *Theriogenology* 66:2173–2181.
- ROELOFS, J. B., VAN EERDENBURG, F. J. C. M., HAZELEGER, W., SOEDE, N. M. & KEMP, B. 2006b. Relationship between progesterone concentrations in milk and blood and time of ovulation in dairy cattle. *Animal Reproduction Science* 91:337–343.
- ROELOFS, J., HUIBERS, M., PEETERS, F., ARNTZ, A. & VAN OS, J. 2008. Rumination and worrying as possible mediators in the relation between neuroticism and symptoms of depression and anxiety in clinically depressed individuals. *Behaviour Research and Therapy* 46:1283–1289.
- ROELOFS, J., LÓPEZ-GATIUS, F., HUNTER, R. H. F., VAN EERDENBURG, F. J. C. M. & HANZEN, C. 2010. When is a cow in estrus? Clinical and practical aspects. *Theriogenology* 74:327–344.
- RORIE, R. W., BILBY, T. R. & LESTER, T. D. 2002. Application of electronic estrus detection technologies to reproductive management of cattle. *Theriogenology* 57:137–148.
- RUTLLANT, J., LOPEZ-BEJAR, M. & LOPEZ-GATIUS, F. 2005. Ultrastructural and Rheological Properties of Bovine Vaginal Fluid and its Relation to Sperm Motility and Fertilization: a Review. *Reproduction in Domestic Animals* 40:79–86.
- SABY-CHABAN, C. & CHASTANT-MAILLARD, S. 2015. Approche de la cyclicité et de la fertilité des vaches laitières en France par le suivi de la progestérone dans le lait, *Rapport n°1 : Reprise de cyclicité des vaches laitière – Herd Navigator<sup>ND</sup> – ENVT*, Toulouse, France
- SABY-CHABAN, C. & CHASTANT-MAILLARD, S. 2016. Caractérisation des cycles chez la vache Impact des anomalies de cyclicité sur la fertilité chez la vache laitière Holstein, *Rapport n°2 : Anomalies de cyclicité des vaches laitières – Herd Navigator<sup>ND</sup> – ENVT*, Toulouse, France
- SAINT-DIZIER, M. & CHASTANT-MAILLARD, S. 2018. Potential of connected devices to optimize cattle reproduction. *Theriogenology* 112:53–62.
- SAKATANI, M., TAKAHASHI, M. & TAKENOUCI, N. 2016. The efficiency of vaginal temperature measurement for detection of estrus in Japanese Black cows. *Journal of Reproduction and Development* 62:201–207.
- SALES, J. N. S., NEVES, K. A. L., SOUZA, A. H., CREPALDI, G. A., SALA, R. V., FOSADO, M., FILHO, E. P. C., DE FARIA, M., FILHO, M. F. S. & BARUSELLI, P. S. 2011. Timing of insemination and fertility in dairy and beef cattle receiving timed artificial insemination using sex-sorted sperm. *Theriogenology* 76:427–435.
- SAUMANDE, J. & HUMBLLOT, P. 2005. The variability in the interval between estrus and ovulation in cattle and its determinants. *Animal Reproduction Science* 85:171–182.

- SIDDIQUI, M. A. R., FERREIRA, J. C., GASTAL, E. L., BEG, M. A., COOPER, D. A. & GINTHER, O. J. 2010. Temporal relationships of the LH surge and ovulation to echotexture and power Doppler signals of blood flow in the wall of the preovulatory follicle in heifers. *Reproduction, Fertility and Development* 22:1110–1117.
- SIROIS, J. & FORTUNE, J. E. 1988. Ovarian follicular dynamics during the oestrous cycle in heifers monitored by real-time ultrasonography. *Biology of Reproduction* 39, 308–17.
- STEVENSON J.S., KOBAYASHI Y., THOMPSON K.E., 1999 Reproductive performance of dairy cows in various programmed breeding systems including OvSynch and combinations of Gonadotropin-releasing hormone and prostaglandin F<sub>2α</sub>, *Journal of Dairy Science* 85:506-515
- SUMIYOSHI, T., TANAKA, T. & KAMOMAE, H. 2014. Relationships Between the Appearances and Changes of Estrous Signs and the Estradiol-17β Peak, Luteinizing Hormone Surge and Ovulation During the Perioovulatory Period in Lactating Dairy Cows Kept in Tie-stalls. *Journal of Reproduction and Development* 60:106–114.
- THIBAUT, C., ESCAFFRE, A.-M., GÉRARD, M., CORNU, C. & DE FONTAUBERT, Y. 1967. Analyse comparée de la fécondation et de ses anomalies chez la brebis, la vache et la lapine. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique* 7:5–23.
- THIBAUT, C. & LEVASSEUR, M.-C. 1973. Conservation et survie prolongée des spermatozoïdes dans les voies génitales femelles des vertébrés. *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique* 13:267–284.
- TRIMBERGER, G. W. 1948. Breeding efficiency in dairy cattle from artificial insemination at various intervals before and after ovulation. *Res. Bull. 153, Univ. Nebraska Coll. Agric., Agric. Exper. Stat., Lincoln, Nebraska*
- VAILES, L. D., WASHBURN, S. P. & BRITT, J. H. 1992. Effects of various steroid milieu or physiological states on sexual behavior of Holstein cows. *Journal of Animal Science* 70:2094–2103.
- VANEERDENBURG, F. J. C. M., LOEFFLER, S. H. & VAN VLIET, J. H. 1996. Detection of oestrus in dairy cows: a new approach to an old problem. *Vet Q.* 18 (2):52–54.
- VERGONJEANNE R. 2014. Les performances zootechniques sont-elles à la mesure de l'investissement. *Terre-net Media*, <http://www.web-agri.fr/machinisme-batiment/batiment-traite/article/la-rentabilite-n-est-la-priorite-1157-107749.html>, consulté en Août 2018
- VEYSSET P., WALLET P., PRUGNARD E., 2001, Le robot de traite : pour qui ? pourquoi ? Caractérisation des exploitations équipées, simulations économiques et éléments de réflexion avant investissement, *INRA Production animale* 14 (1) : 51- 61
- WALKER, W. L., NEBEL, R. L. & MCGILLIARD, M. L. 1996. Time of Ovulation Relative to Mounting Activity in Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science* 79:1555–1561.

- WILSON, S. J., MARION, R. S., SPAIN, J. N., SPIERS, D. E., KEISLER, D. H. & LUCY, M. C. 1998. Effects of Controlled Heat Stress on Ovarian Function of Dairy Cattle. 1. Lactating Cows. *Journal of Dairy Science* 81:2124–2131.
- WILTBANK, M. C. & PURSLEY, J. R. 2014. The cow as an induced ovulator: Timed AI after synchronization of ovulation. *Theriogenology* 81:170–185.

Toulouse, Septembre 2018

**NOM** : CORBRION-MOURET

**PRENOM** : Loïse

**TITRE** : Influence du moment de l'insémination artificielle sur le taux de réussite de la vache laitière

**RESUME** : La détection des chaleurs est aujourd'hui un problème majeur pour l'éleveur qui présente des difficultés à les identifier par manque de temps pour l'observation ou par l'inhibition du comportement de chaleurs pour certains individus. Au fil des années, des outils qui permettent de détecter l'œstrus, voire de prédire le moment de l'ovulation, ont été développés de manière à cibler le moment de l'insémination et ainsi augmenter son taux de réussite.

DeLaval® a développé un système permettant de mesurer la concentration en progestérone dans le lait lors de la traite afin de détecter entre autres la lutéolyse (alarme « chaleurs ») et ainsi cibler le moment de l'insémination. Au moment de l'alarme, une probabilité de réussite est fournie par le système. Ces valeurs ainsi que des données concernant l'individu (parité, production laitière, nombre de jours en lactation) sont intégrées dans un système appelé Herd Navigator®. Un modèle est mis en place dans le but de prédire la réussite à l'insémination et regroupe seulement deux facteurs de l'étude : la saison de l'insémination et le nombre de jours post-partum. L'AUC de ce modèle est de 0,58. L'influence de la probabilité de réussite à l'IA, calculée par le logiciel, sur la véritable réussite à l'IA n'est pas retrouvée dans notre étude. La période optimale pour réaliser l'IA à la suite de l'alarme « chaleurs » est assez large et s'étend de 10 heures à 4 jours.

**MOTS CLES** : Herd Navigator®, Prim'Holstein, Insémination artificielle, délai, détection des chaleurs, œstrus, concentration en progestérone, probabilité de réussite à l'insémination

---

**TITLE** : Influence of the artificial insemination time on the AI success rate of dairy cows

**ABSTRACT** : Now, heat detection is a major problem for farmers who have difficulty to identify them cause of lack of time for observation or inhibition of behavioral signs of estrous for some individuals. Over the years, systems have been developed to detect estrous and predict the time of ovulation, to know the best time to inseminate in order to increase the successful rate of AI.

DeLaval® has developed a system to measure the concentration of progesterone in milk during milking in order to detect luteolysis ("heat" alert) and to know how inseminate. At the time of the alarm, a probability of AI success is provided by the system. These values as well as individual data (parity, milk production, number of days in lactation) are integrated into a system called Herd Navigator®. A model with two factors (insemination season and number of post-partum days) is found to predict AI success. The model's AUC is 0.58. The influence of the likelihood of AI success, given by Herd Navigator®, is not found on the true AI success. The optimal interval between the alert and insemination is large and ranges from 10 hours to 4 days.

**KEY WORDS** : Herd Navigator®, Prim'Holstein, Artificial insemination, time, heat detection, estrous, progesterone concentration, likelihood of insemination success