

VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

La note d'état corporel, un outil
qui reflète la réussite à la
reproduction des vaches laitières?
Résultats préliminaires

Charlotte JUDE

Adapter l'élevage aux nouveaux enjeux
2019

La note d'état corporel, un outil qui reflète la réussite à la reproduction des vaches laitières? Résultats préliminaires

Mémoire de fin d'études d'ingénieur - Agronomie
Adapter l'élevage aux nouveaux enjeux

JUDE charlotte
Septembre 2019



Maitre de stage : Fabrice BIDAN



Tutrice de stage : Fabienne BLANC

« L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup. »

Remerciements

Je tiens à remercier tout particulièrement, Fabrice BIDAN pour son encadrement, son soutien et sa patience tout au long de ce stage. Ça mérite vraiment une plaquette de chocolat !

Je tiens également à remercier Luc DELABY et Nicolas BEDERE pour leur aide et leurs idées au court de nos nombreux échanges. Merci pour votre bienveillance et votre franc parler.
Charlotte DEZETTER, pour son temps et ses conseils lors de nos analyses statistiques.
Maxime LEGRIS, pour son aide précieuse sur les statistiques.

Enfin, je tiens à remercier Fabienne BLANC pour son temps, ses conseils et sa réactivité à la fin de mon stage.

Merci à toute l'antenne IDELE d'Angers Beaucouzé de m'avoir accueilli aussi chaleureusement. Je repars avec beaucoup de bons souvenirs, de la table de pique-nique au pigeon sous la fenêtre du bureau ...

Résumé

Avec le développement d'outil numérique comme l'imagerie 3D, la mesure des réserves corporelles des vaches laitières, et leur maîtrise, pour optimiser la réussite à la reproduction via la note d'état corporel (**NEC**) devient plus simple et rapide. Pour cela, 410 lactations issues de deux fermes expérimentales (Les Trinottières et Orcival), ont permis de réaliser des classifications afin de définir respectivement 3 et 4 profils d'évolution de NEC. Les performances de reproduction ont été confrontées en fonction des profils de NEC grâce à un modèle simple d'ANOVA ou de Khi-deux.

Aux Trinottières, un effet significatif des profils de NEC sur le pourcentage de vaches gestantes, le pourcentage de vaches avec 3 inséminations artificielles (**IA**) ou plus, l'intervalle vêlage-première IA, sans mettre en évidence de meilleurs profil hormis pour ce dernier indicateur est visible. De plus, la NEC semble avoir un effet sur le nombre d'IA par vache ou par gestation et sur le pourcentage de revêlage fécondée dans les 90 jours post-partum. A Orcival, sans mettre en évidence de meilleur profil, seul ce dernier indicateur est significativement affecté et le nombre d'IA par gestation ressort en tendance.

Globalement, les profils avec les pertes d'état les plus faibles au cours de la lactation ressortent avec les meilleurs résultats de reproduction. A l'inverse les animaux avec de forte perte d'état (plus d'un point de NEC) et avec une NEC minimale tardive ont des résultats dégradés, sauf pour la réussite en première IA pour les animaux avec une $NEC > 2,5$ à 56 jours.

Abstract

Measuring and controlling the body reserves of dairy cows to optimize reproductive success by using the body condition score (**BCS**) becomes easier and faster thanks to the development of digital tools such as 3D imaging. For this purpose, 410 lactations from two experimental farms (Les Trinottières and Orcival) were used to carry out classifications in order to define respectively 3 and 4 BCS evolution profiles. Reproductive performances were compared according to BCS profiles thanks to an analysis-of-variance model approach or Chi-square statistic.

A significant effect of NEC profiles on the percentage of pregnant cows, the percentage of cows with 3 or more artificial inseminations (AI), the calving to first AI interval has been observed on the Trinottières dataset, without highlighting any best profile except for the last indicator. In addition, the BCS appears to have an effect on the number of AIs per cow or per pregnancy and on the percentage of re-calving from pregnant cows at 90 days in milk. On the Orcival dataset, without highlighting a best profile, only the calving to first AI interval is significantly affected by BCS profiles. In addition the effect of BCS profile on the number of AIs per pregnancy shows a statistical trend.

Overall, the profiles with the lowest body condition's losses during lactation have the best reproductive results. On the contrary, cows which loose the most body condition (more than one point of BCS) and reach out later to their lowest BCS had degraded results, except for the success at first AI for animals with a $BCS > 2.5$ at 56 days in milk.

Liste des abréviations

ACP : Analyse en composante principale
AGNE : Acide gras non estérifiés
ANOVA : Analyse de variance
CAH : Classification ascendante hiérarchique
C1-IA1 : Intervalle première chaleur – première insémination artificielle
DAC : Distributeur automatique de concentré
ESA : Ecole Supérieure d'Agricultures basée à Angers
F@rmXP : Réseau de fermes expérimentales entre IDELE et les Chambres d'Agricultures
FSH : Hormone folliculo-stimulante
GnRH : Gonadolibérine
IA : Insémination artificielle
IA1 : Première insémination artificielle
IA1-IAF : Intervalle première insémination artificielle – insémination fécondante
IGF-1 : Insuline growth factor
IVV : Intervalle entre deux vêlages
IV-C1 : Intervalle vêlage – première chaleur
IV-IA1 : Intervalle vêlage – première insémination artificielle
IV-IAF : Intervalle vêlage – insémination fécondante
IDELE : Institut de l'élevage
INRA : Institut national de recherches agronomiques
LH : Hormone lutéinisante
MEP : Mortalité embryonnaire précoce
MET : Mortalité embryonnaire tardive
MG : Matière grasse
MP : Matière protéique
NEC : Note d'état corporel
PP : Postpartum
RFID : Radio frequency identification
TB : Taux butyreux
TP : Taux protéique
TRIA1 : Taux de réussite en première insémination
TRIA1+2 : Taux de réussite en première ou deuxième insémination
%3IA : Pourcentage de vaches nécessitant 3 IA ou plus

Table des figures

Figure 1: Taux de réussite des inséminations artificielles (IA ; en %) - IA totales (Le Mezec, 2017)	1
Figure 2 : Cycle de reproduction idéal de la vache d'après Leborgne et al (2013)	3
Figure 3 : Involution de l'utérus après la mise bas chez la vache (Leborgne et al, 2013)	3
Figure 4 : Evolution des concentrations hormonales au cours du cycle sexuel chez la vache (Leborgne et al, 2013)	3
Figure 5 : Effet de la race sur l'intervalle vêlage –IA fécondante (IV-IAF) en France (campagne 2016-2017 ; www.reproscope.fr)	3
Figure 6 : Facteurs expliquant l'intervalle vêlage-vêlage (Leborgne et al, 2013)	4
Figure 7 : Relation entre sous-nutrition et cyclicité (Leborgne et al, 2013)	5
Figure 8: Rendement laitier (triangles bleus) de vaches prim'holstein et note d'état corporel (points oranges) durant la lactation (Bedere, 2016)	7
Figure 9 : Intervalle de profils acceptables permettant aux vaches laitières prim'holstein d'avoir une production laitière presque maximale sans compromettre la reproduction (Roche et al, 2009) aux échelles 1-5, 1-8 et 1-10 points	7
Figure 10 : Synthèse de la méthode employée	190
Figure 11 : Courbes de NEC de l'ensemble des lactations des Trinottières obtenues après réalisation d'une spline	18
Figure 12 : Courbes de NEC de l'ensemble des lactations d'Orcival obtenues après réalisation d'une spline	18
Figure 13 : Contribution des variables aux axes (Trinottières)	39
Figure 14 : Contribution des variables aux axes (Orcival)	20
Figure 16 : Profils moyens de l'évolution de l'état corporel des groupes d'Orcival obtenus après classification	21
Figure 15 : Profils moyens de l'évolution de l'état corporel des groupes des Trinottières obtenus après classification	21

Table des tableaux

Tableau 1 : Effet de la production laitière moyenne du troupeau sur le taux de gestation (Freret et al, 2006 ; p=0,025)	5
Tableau 2: Influence des paramètres laitiers sur les performances de reproduction en race prim'holstein (Dubois, 2006)	5
Tableau 3 : Synthèse des notes d'état corporel (NEC) cibles sur l'échelle 0-5 (Bazin, 1984) et effets associés selon le type racial d'après Bedere et al, 2018 ; Madureira et al, 2015 ; UNCEIA, 2010 ; Roche et al, 2009 ; Ponsart et al, 2006a et López-Gatius et al, 2003	7
Tableau 4 : Tableau synthétique de l'effet de la NEC et du niveau d'alimentation sur les performances de reproduction.....	8
Tableau 5 : Fréquence de mesure des notes d'état corporel (NEC) selon le site expérimental	10
Tableau 6 : Informations contenues dans la base de données	12
Tableau 7 : Impact des critères de tri sur le nombre de lactations de la base de données.....	17
Tableau 8 : Echantillon utilisé pour l'étude	17
Tableau 9 : Comparaison des performances de reproduction des fermes expérimentales à la médiane des moyennes françaises (prim'holstein)	17
Tableau 10 : Comparaison des performances laitières des fermes expérimentales aux résultats du contrôle laitier (prim'holstein).....	18
Tableau 11 : Comparaisons des notes d'état corporel (NEC) des fermes expérimentales au cours de la lactation	18
Tableau 12 : Description générale des profils des Trinottières (110 G = ration riche ; 95 G = ration standard ; RC = ration complexe ; RS = ration simple ; NA = pas d'informations).....	22
Tableau 13 : Performances de production laitière des groupes des Trinottières.....	22
Tableau 14 : Description générale des profils d'Orcival (1T = mono traite ; 2T = deux traites par jour).....	22
Tableau 15 : Performances de production laitière des groupes d'Orcival	22
Tableau 16 : Résultats de fertilité des groupes des Trinottières en lien avec l'état corporel.....	23
Tableau 17 : Résultats de fertilité des groupes d'Orcival en lien avec l'état corporel	45
Tableau 18 : Influence du potentiel génétique de production laitière sur les performances de reproduction des vaches prim'holstein (Disenhaus et al, 2005).....	25

Table des annexes

Annexe 1 : Grille de notation de l'état corporel selon l'institut technique de l'élevage bovin

Annexe 2 : Données des expérimentations disponibles pour le projet CowPILOT

Annexe 3 : Répartition des vêlages des fermes expérimentales au cours du temps

Annexe 4 : Répartition des intervalles vêlage première insémination artificielle (IV-IA1) des fermes expérimentales

Annexe 5 : Répartition des intervalles entre deux vêlages (IVV) des fermes expérimentales

Annexe 6 : Courbes de notes d'état corporel (NEC) moyenne des troupeaux des deux fermes expérimentales (toutes lactations)

Annexe 7 : Répartition des intervalles première insémination artificielle-insémination fécondante (IA1-IAF) des fermes expérimentales

Annexe 8 : Résultats de la confrontation inter-profil des variables composant l'ACP (Trinottières)

Annexe 9 : Résultats de la confrontation inter-profil des variables composant l'ACP (Orcival)

Annexe 10 : Choix du nombre de dimensions et du nombre de classes aux Trinottières

Annexe 11 : Choix du nombre de dimensions et du nombre de classes à Orcival

Annexe 12 : Résultats de fécondité en lien avec l'état corporel des animaux des Trinottières

Annexe 13 : Résultats de fécondité en lien avec l'état corporel des animaux d'Orcival

Table des matières

Introduction	1
1. Synthèse des connaissances actuelles sur le fonctionnement de la reproduction chez la vache laitière	3
1.1. La reproduction : un processus cyclique... ..	3
1.1.1. Qui met en jeu des mécanismes physiologiques et comportementaux	3
1.1.2. Dont la réussite peut être variable	3
1.2. ... Mais qui n'est pas toujours assuré	4
1.3. ... Dont la réussite peut être modulée par les caractéristiques intrinsèques des animaux ..	5
1.3.1. Une production laitière concurrente	5
1.3.2. La réussite à la reproduction influencée par le niveau d'alimentation et le niveau des réserves corporelles	6
1.4. De nouveaux outils à maîtriser	8
2. Matériel et méthodes	10
2.1. Constitution d'un groupe de travail pour valider la démarche d'analyse des données ...	20
2.2. Dispositif expérimental.....	20
2.2.1. Fermes supports : origine des données.....	20
2.2.2. Règles de conduite différente des troupeaux.....	22
2.3. Sélection des données	124
2.3.1. Préparation des données	124
2.3.2. Tri des données.....	124
2.4. Analyses descriptives des données	13
2.4.1. Variables décrites	13
2.4.2. Validation des données.....	14
2.5. Traitements statistiques	14
3. Résultats	17
3.1. Description des populations étudiées.....	17
3.2. Description des populations sélectionnées	17
3.2.1. Les Trinottières.....	17
3.2.2. Orcival.....	18
3.2.3. Comparaison avec la moyenne nationale et entre les deux fermes	18
3.3. Choix des méthodes statistiques	40
3.3.1. Les variables composant l'ACP	40
3.3.2. Sélection du nombre de dimension et de profils	42
3.4. Des profils d'évolution de notes d'état corporel différents... ..	21
3.4.1. ... En fonction de la NEC au cours de la lactation.....	21
3.4.2. ... Caractériser par des animaux différents	22

3.5. ...N'expliquant que peu les performances de reproduction	22
4. Discussion	248
4.1. Performances de fécondité.....	248
4.2. Performances de fertilité.....	250
4.3. Des biais induit par la méthode	27
4.3.1. ... Autres méthodes de classification	27
4.3.2. ... Choix des variables composants l'ACP	28
4.3.3. ... Choix du modèle d'analyse	28
4.4. Facteurs pouvant impacter les résultats	29
Conclusion	32

Taux de réussite des inséminations (en %) - IA totales

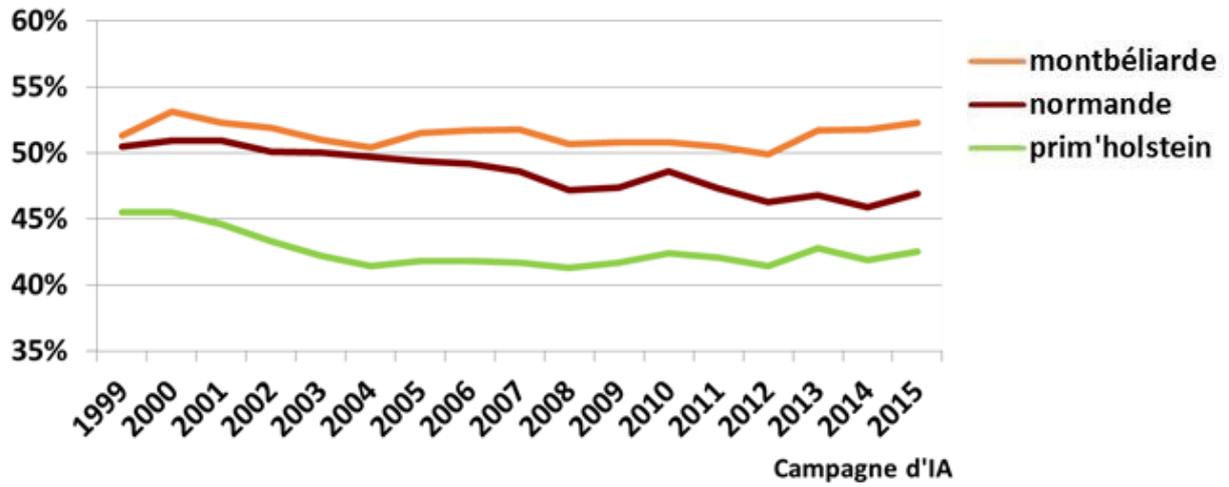


Figure 1: Taux de réussite des inséminations artificielles (IA ; en %) - IA totales (Le Mezec, 2017)

Introduction

Les performances de reproduction des vaches laitières se sont beaucoup dégradées en race prim'holstein, montbéliarde et normande depuis le début des années 2000 (Figure 1 ; Le Mezec, 2017 ; Le Mezec *et al*, 2010 ; Barbat *et al*, 2005). Même si nous notons une légère amélioration ces dernières années, elles ont atteint un niveau préoccupant pouvant impacter le revenu de l'éleveur. En effet, la reproduction est une étape clé permettant l'obtention du produit de l'élevage, tel que le lait ou la viande, si elle est réussie.

Un échec lors de la mise à la reproduction peut conduire l'éleveur à réformer des animaux. Avec la dégradation de la fertilité, c'est un nombre plus important d'animaux qui se retrouve réformé pour cause d'échec de la reproduction. Ces réformes auront pour conséquence de contraindre l'agriculteur à élever plus de génisses ou à acheter des animaux, ce qui entraîne des coûts de production supplémentaires de 9 à 38€/1 000 L (Le Cozler, 2013). De plus, une infertilité impacte la fécondité des troupeaux, ce qui dans certaines situations peut impacter là encore le revenu de l'éleveur : une variation de 10 jours de l'intervalle entre deux vêlages (IVV) d'un troupeau laitier a un manque à gagner de 4 à 65€, (Bidan *et al*, 2019 ; Inchaisri *et al*, 2010 ; Seegers *et al*, 2010). Une maîtrise de la reproduction permet donc d'améliorer les résultats économiques d'une exploitation.

L'évolution de ces performances a donc été beaucoup étudiée pour comprendre les mécanismes et enjeux autour de la cascade de la reproduction (folliculogénèse ovarienne, cyclicité, expression des chaleurs, ovulation, fécondation, développement embryonnaire puis fœtal et vêlage) en lien avec la production laitière et l'état des animaux. En fonction des stades de production, la vache laitière peut être en déficit énergétique, ce qui a pour conséquence une mobilisation de ces réserves corporelles. Or, il a été démontré que la production laitière est en concurrence directe avec la reproduction pour la consommation de ressources énergétiques. Cette concurrence entraîne alors une diminution des performances de reproduction.

Les réserves corporelles sont estimées grâce à la note d'état corporel (NEC). La NEC a pour objectif d'évaluer la graisse sous cutanée par observation et/ou palpation des animaux. Les nouvelles technologies et l'élevage de précision sont en plein essor et permettent à l'éleveur un gain de temps, de la facilité dans son travail et souvent plus de précision dans les données collectées (Hostiou *et al*, 2014 ; Bewley, 2010). L'élevage de précision repose sur l'utilisation de technologies capables de mesurer des paramètres zootechniques, physiologiques et comportementaux à l'échelle individuelle dans le but d'optimiser la gestion de l'exploitation. Dans un contexte de diminution de main d'œuvre et d'augmentation de la taille des troupeaux, l'organisation du travail est une préoccupation majeure pour l'éleveur qui cherche à réduire son temps d'astreinte (Cournut et Chauvat, 2012, 2010 ; Dufour et Dedieu, 2010). Aujourd'hui, le développement de l'imagerie en 3 dimensions propose des perspectives de conduite individualisée sur l'état corporel de l'animal. Cette technologie peut permettre la généralisation de l'évaluation des réserves corporelles des animaux comme un outil de pilotage individuel des vaches d'un troupeau (Fischer *et al*, 2015).

Dans ce contexte, l'Institut de l'Élevage (IDELE), l'Institut National de Recherches Agronomiques (INRA) et l'École Supérieure d'Agricultures à Angers (ESA) s'intéressent aujourd'hui à la NEC pour piloter la reproduction. Ces trois structures ont imaginé le projet « CowPILOT – Piloter la note d'état corporel pour optimiser la reproduction des vaches laitières » lauréat de l'appel à projet CasDAR 2018 du Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. Il a pour finalité de proposer des solutions innovantes pour optimiser la réussite à la reproduction à partir du suivi individuel de la NEC des vaches laitières.

IDELE est une association, employant 260 personnes, qui a pour objectif d'améliorer la compétitivité des élevages herbivores et de leur filière tout en prenant en compte les enjeux sociétaux. Au sein de cette structure, ce mémoire s'inscrit dans l'action 1 du projet « CowPILOT ». Cette action vise à mobiliser des données de sites expérimentaux de l'INRA ou de fermes expérimentales du réseau F@rmXP, pour créer une base de données unique et harmonisée permettant l'étude de la relation entre la NEC et les performances de reproduction.

Les objectifs de cette étude sont i) de déterminer l'effet de la NEC sur les performances de reproduction à partir de profils de variations de NEC, ii) de constater quels indicateurs de reproduction sont influencés par des profils de variations et iii) de voir si la NEC est un bon indicateur pour prédire la réussite à la reproduction. Dans un premier temps, nous décrirons l'état de l'art en lien avec ce sujet. Dans un second temps, une présentation de la méthode employée sera faite. Ensuite, les principaux résultats seront présentés, puis, discutés et enfin, nous conclurons.

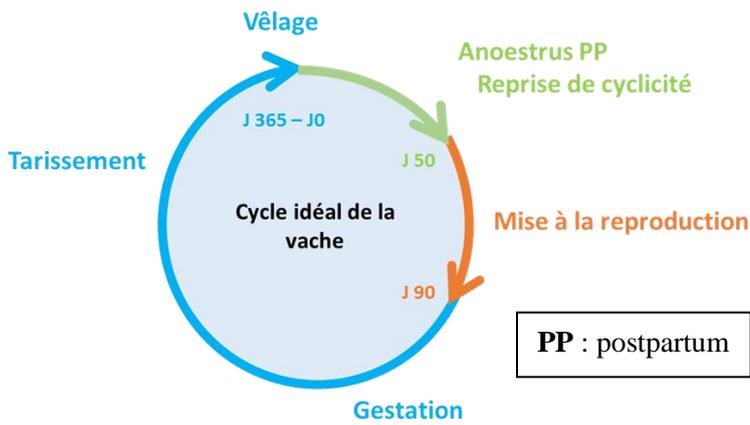


Figure 2 : Cycle de reproduction idéal de la vache d'après Leborgne et al (2013)

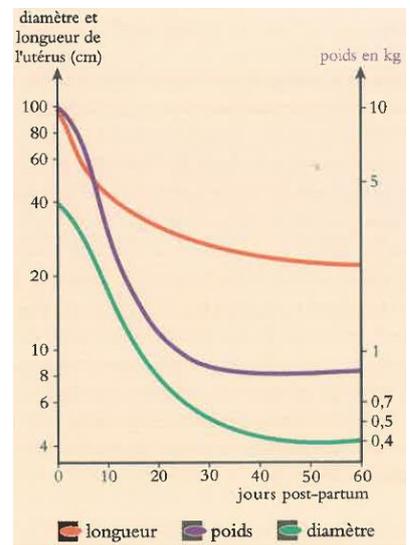
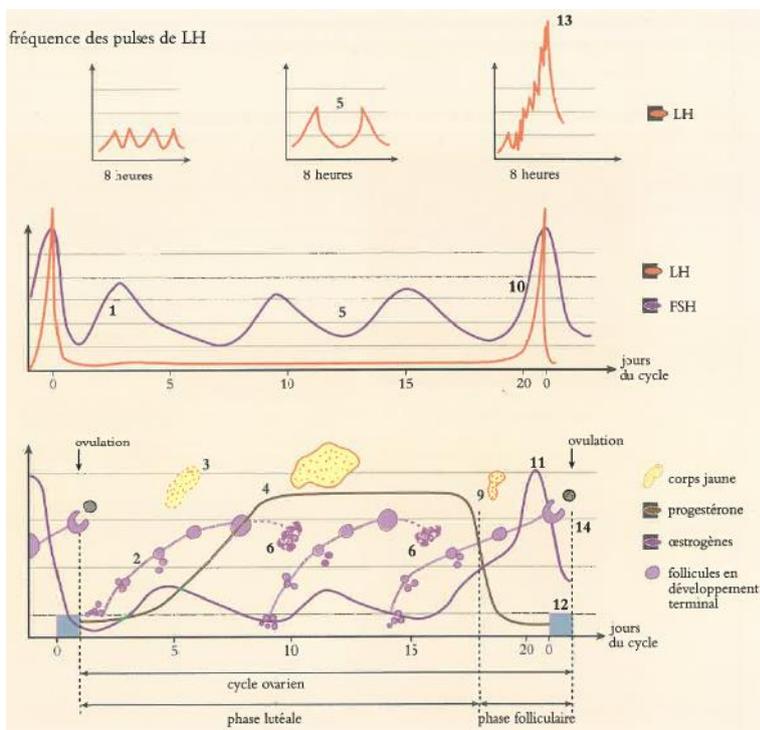


Figure 3 : Involution de l'utérus après la mise bas chez la vache (Leborgne et al, 2013)



LH : Hormone lutéinisante
FSH : Hormone folliculo-stimulante

Figure 4 : Evolution des concentrations hormonales au cours du cycle sexuel chez la vache (Leborgne et al, 2013)

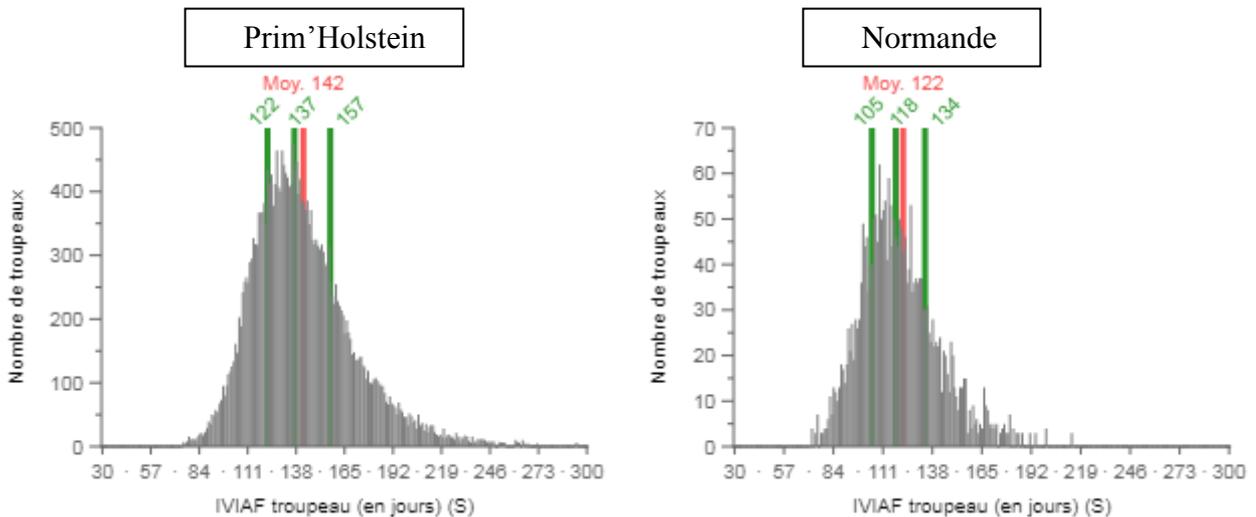


Figure 5 : Effet de la race sur l'intervalle vêlage-IA fécondante (IV-IAF) en France (campagne 2016-2017 ; www.reproscope.fr)

1. Synthèse des connaissances actuelles sur le fonctionnement de la reproduction chez la vache laitière

La reproduction est une fonction clé en élevage, car c'est sur elle que repose la production de jeunes (ventes, renouvellement) et de lait, et donc, une partie des résultats économiques de l'exploitation. Nous allons donc, dans un premier temps, décrire la reproduction : une fonction physiologique complexe dont la réussite n'est pas toujours assurée.

1.1. La reproduction : un processus cyclique...

La figure 2 représente le cycle idéal de reproduction d'une vache sans problème. Après le vêlage, il faut en moyenne 40 jours pour que l'appareil génital de la vache redevienne fonctionnel (Figure 3). Il est, ensuite, nécessaire d'avoir une stimulation (odeur, lumière, ...) de l'axe hypothalamo-hypophysaire pour obtenir une cyclicité des mécanismes physiologiques. Les animaux ont un cycle ovarien d'une durée moyenne de 21 jours mais varie entre 19 et 25 jours (Freret *et al*, 2005). Au cours de ce cycle, la vache va avoir une ovulation pouvant conduire à une gestation si une insémination est réalisée au moment opportun. La période de reproduction dépend de l'animal (cyclicité, expression des chaleurs) mais aussi de l'éleveur (capacité à détecter les chaleurs, période de vêlage, insémination au bon moment). Enfin, l'animal a une gestation d'environ 282 jours (Ledos et Moureaux, 2013).

Ainsi, si une des périodes se déroule mal, cela aura une répercussion sur l'ensemble du cycle de reproduction et pourra impacter les phases menant au vêlage suivant. Le vêlage, la reprise de cyclicité ovarienne et la période de reproduction sont donc des moments clés à maîtriser.

1.1.1. Qui met en jeu des mécanismes physiologiques et comportementaux

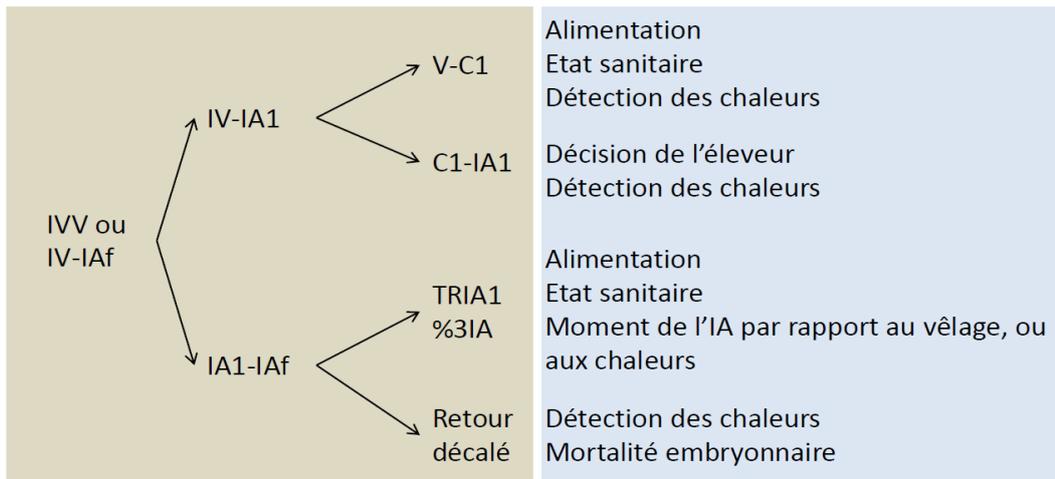
Au niveau biologique, le cycle œstral se décompose en deux phases (Figure 4) : la phase folliculaire et la phase lutéale. La première correspond à la phase où un follicule dominant va devenir un follicule ovulatoire. La phase lutéale correspond au moment où le taux de progestérone, produit par le corps jaune (follicule ovulatoire après l'ovulation), est assez élevé pour avoir un rétro contrôle négatif sur les autres hormones et empêcher la dominance d'autres follicules et, donc, l'ovulation.

Lors de la période d'œstrus, la vache va avoir un changement de comportement associé à l'ovulation : une chaleur. Pour pratiquer l'insémination artificielle (IA) chez la vache, il est nécessaire de bien détecter les signes observables comme l'acceptation du chevauchement (= comportement spécifique) ou le chevauchement, le cajolement, les flairages... (= signes secondaires). Ces comportements permettront à l'éleveur de bien identifier les moments où il est possible de réaliser une IA.

S'il n'y a pas de fécondation, la production de prostaglandines, par l'utérus, va provoquer une lutéolyse sur le corps jaune et le rendre non fonctionnel. A l'inverse, en cas de fécondation, le corps jaune va alors évoluer en corps jaune de gestation avec un arrêt de la cyclicité ovarienne de la vache.

1.1.2. Dont la réussite peut être variable

En fonction de la race de l'animal, nous notons une variabilité dans la réussite à la reproduction comme le montre la figure 5. En moyenne en France, les troupeaux de race normande ont tendance à obtenir une réussite de la reproduction (figure 5) plus rapidement que les prim'holstein.



IVV : Intervalle entre deux vêlages **V-C1** : Intervalle vêlage première chaleur
IV-IA1 : Intervalle vêlage première IA **C1-IA1** : Intervalle entre la première chaleur et la première insémination **IV-IAf** : Intervalle vêlage IA fécondante
IA1-IAf : Intervalle entre la première insémination et l'insémination fécondante
TRIA1 : Taux de réussite en première insémination **%3IA** : Pourcentage de vache nécessitant au moins trois inséminations

Figure 6 : Facteurs expliquant l'intervalle vêlage-vêlage (Leborgne et al, 2013)

La reprise de cyclicité est assez rapide chez les vaches laitières. En effet, 57 % des prim'holstein et 63 % des normandes ont une cyclicité ovarienne effective à 30 jours postpartum (PP) (Disenhaus *et al*, 2008) mais un quart des animaux présentent des anomalies (retard de cyclicité, inactivité ovarienne prolongée ou encore phase lutéale prolongée) de cyclicité (Disenhaus *et al*, 2008 ; Freret *et al*, 2005). Ces anomalies peuvent entraîner des décalages temporels des ovulations et induire l'éleveur en erreur sur les moments où il faut observer les animaux.

Les objectifs de l'éleveur influencent en partie les conditions de mise à la reproduction. En effet, les vêlages groupés permettent une optimisation du travail et d'obtenir des animaux avec des stades physiologiques proches. A l'inverse, les vêlages étalés permettent d'obtenir une production continue sur l'ensemble de l'année. En outre, cet étalement permet plus de souplesse dans les stratégies de pilotage de la reproduction, par exemple, en retardant le délai de mise à la reproduction. En élevages bovins laitiers, 70% (campagne 2016-2017) des troupeaux français ont des vêlages étalés sur toute l'année (Bidan *et al*, 2019 ; www.reproscope.fr). Ainsi, les performances de reproduction du troupeau peuvent aussi, être dépendantes des choix de conduite (saison de reproduction, alimentation) de l'éleveur.

Il y a donc une variabilité importante associée à la réussite de la reproduction qui s'explique en partie par des facteurs liés à l'animal (génétique, niveau de production laitière, alimentation, état sanitaire, parité..) mais aussi liés à l'éleveur (conduite de la reproduction (vêlages groupés ou étalés), méthodes de détection des chaleurs, pratiques d'inséminations, conduite alimentaire etc.).

1.2. ... Mais qui n'est pas toujours assuré

La fertilité est la capacité d'une femelle à se reproduire. Elle est souvent étudiée par le biais des taux de réussite. La fécondité correspond, en élevages bovins, au délai nécessaire à l'animal pour se reproduire. Elle est évaluée à travers différents intervalles qui servent d'indicateurs pour la reproduction.

Une moindre expression des chaleurs et une durée plus courte (moins de 12 heures) du comportement œstral ont été constatées ces dernières années (Blanc *et al*, 2010 ; Disenhaus *et al*, 2005). Ces deux problèmes associés à une mauvaise détection des chaleurs (Freret *et al*, 2005) peuvent entraîner la réalisation d'une IA au mauvais moment (Ponsart *et al*, 2007). Cela entraîne un nombre moyen d'IA, pour obtenir une gestation, en augmentation. Ceci traduit une moins bonne fertilité des animaux. De même, cette moindre expression va dégrader le taux de gestation (López-Gatius *et al*, 2003) surtout en élevages laitiers, où 91 % (campagne 2016-2017) des troupeaux utilisent de l'IA (Bidan *et al*, 2019 ; www.reproscope.fr) nécessitant une bonne détection des chaleurs par l'éleveur. De plus, les anomalies de cyclicité ovarienne, chez les vaches laitières, représentent jusqu'à un quart des femelles du troupeau (Disenhaus *et al*, 2008 ; Freret *et al*, 2005). Enfin, l'IVV s'est fortement allongé depuis les années 2000 (Le Mezec, 2017). Cet indicateur montre que les animaux mettent plus de temps pour se reproduire. Cela peut s'expliquer par plusieurs facteurs comme le montre la figure 6. Dans un premier temps, l'intervalle entre le vêlage et la première insémination (IV-IA1) se décompose en deux autres intervalles. Le premier est l'intervalle vêlage - première chaleur (IV-C1) qui peut être influencé par l'alimentation, l'état sanitaire de l'animal mais également par la capacité de l'éleveur à détecter les chaleurs des animaux. Le second intervalle est celui entre la première chaleur et la première IA (C1-IA1) qui est impacté par le choix de l'éleveur à mettre les animaux à la reproduction mais également par sa capacité à détecter les chaleurs. Ensuite, l'intervalle entre la première IA et l'IA fécondante (IA1-IAF) se décompose entre le taux de réussite en première IA (TRIA1), les vaches nécessitant au moins 3 IA (%3IA) ainsi que le retour décalé des chaleurs. Les deux premiers (TRIA1 et %3IA) sont influencés par l'alimentation et/ou l'état sanitaire de l'animal mais aussi par le moment de la première IA (IA1).

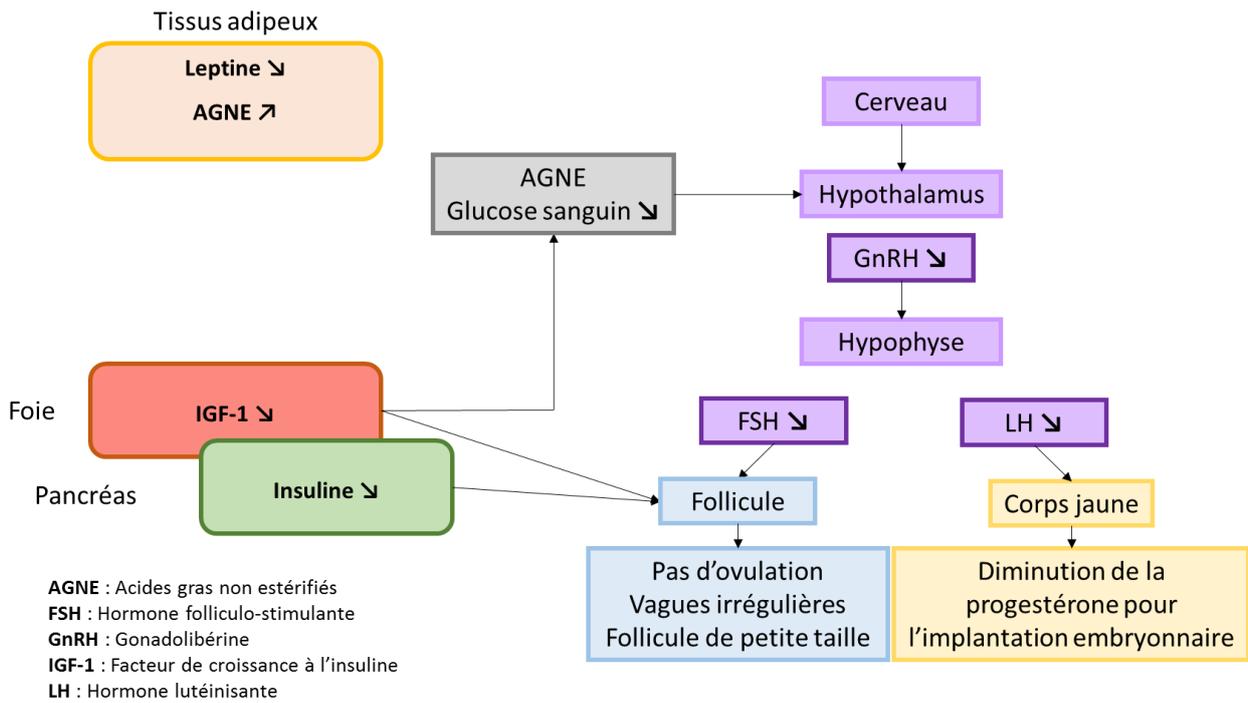


Figure 7 : Relation entre sous-nutrition et cyclicité (Leborgne et al, 2013)

Tableau 1 : Effet de la production laitière moyenne du troupeau sur le taux de gestation (Freret et al, 2006 ; p=0,025)

Production laitière du troupeau	N	% de gestation
≤ 8500 kg	45	50,5
]8500-9500]	56	44
>9500 kg	27	40

Tableau 2: Influence des paramètres laitiers sur les performances de reproduction en race prim'holstein (Dubois, 2006)

Profil de production laitière	Pic de lactation		Taux à 60 jours		Perte d'état 0-60 j	IV-IA1	MET
	Jour	Kg/traite	TP	TB			
Pic précoce, peu marqué ; taux élevés à 60 j	53,0	19,8	33,0	39,6	0,7	75 a	45*
Pic très élevé et oprécoce ; TB faible à 60 j	42,0	25,9	29,4	30,8	1,3	93 b	38*
Pic tardif et peu marqué	95,0	18,1	29,7	37,4	1,1	79 b	14,0
Pic élevé et tardif ; TB faible à 60 j	90,0	24,3	29,0	29,3	1,3	78 b	17,0
Pic précoce et assez élevé ; TP faible à 60 j	51,0	21,2	28,0	35,9	1,4	87 b	19,0

* : significativement différent

IV-IA1 : Intervalle vêlage première IA MET : Mortalité embryonnaire tardive TB : Taux butyreux TP : Taux protéique

Le retour décalé peut s'expliquer par une mauvaise détection des chaleurs par l'éleveur ou par une mortalité embryonnaire. Si la mortalité embryonnaire est tardive (MET), elle peut induire un décalage dans la cyclicité des animaux et dégrader le taux de gestation (Freret *et al*, 2006). Cependant, si elle est précoce (MEP), elle est indétectable.

La fonction de reproduction est sous le contrôle de l'axe hypothalamo-hypophysaire. Ainsi, lorsque l'organisme subit une sous-alimentation énergétique, la production de gonadolibérine (GnRH) va être moindre. Cela implique alors une diminution des gonadotropines (Leborgne *et al*, 2013). Ces hormones sont nécessaires à la croissance folliculaire et à l'ovulation. De plus, il y aura une plus forte concentration d'acides gras non estérifiés (AGNE) qui diminuera l'action des gonadotropines (Figure 7). Enfin, la baisse de glycémie va entraîner une chute des facteurs de croissance à l'insuline (IGF-1) qui va diminuer le nombre de récepteurs aux hormones lutéinisantes (LH) et folliculo-stimulante (FSH) sur les follicules (Leborgne *et al*, 2013). La croissance folliculaire va donc être de moins bonne qualité et implique une mauvaise lutéinisation s'il y a une ovulation. Par conséquent, la survie embryonnaire est très impactée par l'alimentation car l'implantation est compromise du fait d'une concentration en progestérone trop faible (Leborgne *et al*, 2013).

Ainsi de nombreux éléments peuvent impacter chaque étape de la reproduction d'une vache tout en ayant des répercussions sur les suivantes. Il semble donc important d'avoir une bonne préparation et une bonne gestion de toute la période de reproduction afin de ne pas détériorer les performances et d'éviter des coûts supplémentaires associés.

1.3. ... Dont la réussite peut être modulée par les caractéristiques intrinsèques des animaux

1.3.1. Une production laitière concurrente

Depuis plusieurs années, les performances de reproduction des vaches laitières se détériorent de plus en plus du fait d'une sélection importante sur la production laitière au détriment de la fertilité (Dubois *et al*, 2006 ; Boichard, 2000). Le tableau 1 met en évidence la corrélation négative qui existe entre la production laitière et le taux de gestation. En effet, plus la production est élevée et plus cet indicateur de reproduction se dégrade. Bedere *et al* (2018) suggèrent qu'une augmentation de 10 kg de la production de lait, par le biais de la génétique, entraînerait un allongement de 11 jours de l'observation des premières chaleurs post-partum ainsi qu'une réduction de 20% du taux de réussite en IA1. Le tableau 2 met en évidence un IV-IA1 moins important et une MET plus forte chez les vaches qui ont un pic précoce et des taux élevés (Dubois *et al*, 2006). Cutullic *et al* (2012) ont mis en évidence qu'avec une forte production laitière le comportement œstral est moins exprimé et la MET est plus importante.

Un niveau de production laitière élevée entraîne une baisse de la glycémie avec un fort besoin énergétique. Cela implique une baisse des IGF-1 plasmatiques qui favorisent l'action des gonadotropines. Les gonadotropines ont pour but la croissance et l'ovulation de l'ovocyte. Ainsi, une forte production laitière entraîne une baisse du nombre d'ovulation chez la vache (Taylor *et al*, 2003).

Il faut donc adapter sa conduite en fonction de ses objectifs. C'est à dire que l'éleveur peut décider de diminuer la production laitière de ses vaches ainsi que la sélection sur ce critère afin de favoriser les performances de reproduction (Disenhaus *et al*, 2005). Ainsi, les réserves corporelles sont moins sollicitées (Pryce *et al*, 2001) et peuvent assurer les besoins énergétiques de l'animal nécessaire à la reproduction.

Le pilotage de la sélection sur la quantité de lait produite, en lien avec la mobilisation des réserves corporelles, a donc un rôle à jouer dans la réussite à la reproduction des vaches.

1.3.2. La réussite à la reproduction influencée par le niveau d'alimentation et le niveau des réserves corporelles

1.3.2.1. Les réserves corporelles ...

Les réserves corporelles des animaux sont de l'énergie stockée sous forme de graisses de réserves (lipides), principalement, et de glycogène. L'hydrolyse d'un lipide libère une quantité d'énergie plus importante que celle d'un glucide ou d'une protéine. C'est pourquoi les animaux stockent leurs réserves corporelles sous la forme de lipides. Ces lipides ont été fortement étudiés pour comprendre les mécanismes liés au stockage des réserves corporelles et à leur mobilisation (García et Agabriel, 2007 ; Robelin et al, 1990 ; Chilliard, 1987 ; Wright et Russel, 1984a, 1984b ; Trigg et Topps, 1981).

Les vaches ont différentes dépenses énergétiques comme les dépenses d'entretien ou les dépenses de production (De La Torre et Agabriel, 2017). Ces dernières vont varier tout au long de la vie de l'animal et des stades physiologiques que sont la croissance, la gestation, la lactation ou l'engraissement. Il semble donc important de gérer les réserves corporelles des animaux de son troupeau. Pour cela, un outil applicable en élevage a été créé pour les estimer : la NEC.

1.3.2.2. ... évaluées par la note d'état corporel

De nombreuses études ont mis en évidence les différents effets de la variation des réserves corporelles des vaches sur la cascade de la reproduction (Bedere *et al*, 2018 ; Roche *et al*, 2009 ; Ponsart *et al*, 2007, 2006a, 2006b ; Freret *et al*, 2005 ; López-Gatius *et al*, 2003 ; Pryce *et al*, 2001). La variation de ces réserves corporelles s'évalue, en France, grâce à la NEC. La NEC permet d'évaluer la graisse sous cutanée des animaux grâce à l'observation et/ou la palpation de l'animal (Bazin, 1984 ; Annexe 1). Selon Bazin (1984), un point sur la note d'état corporel correspond à 20 à 25 kg de lipides pour une vache laitière de 600 kg. Ces résultats ont été validés par l'étude de Remond *et al* (1988). Pour la réalisation de cette note, il faut que l'animal soit calme, debout et dans une position équilibrée pour que la mesure ne soit pas influencée par sa posture.

1.3.2.3. ... Dont l'évolution peut affecter les performances de reproduction

La fonction de reproduction est une fonction liée à l'état corporel des animaux. En effet, Burke et Roche (2007) ont mis en évidence que les animaux qui perdent de l'état lors du tarissement ont un IV-C1 qui augmente. De même, si un animal a une NEC inférieure à 2 au moment du vêlage, l'IV-C1 et l'IVV sont allongés, et il y a un retard dans la reprise de cyclicité (Bedere *et al*, 2018 ; Roche *et al*, 2009 ; Ponsart *et al*, 2006a ; López-Gatius *et al*, 2003). Aussi, si la NEC au vêlage est associée à une perte d'état postpartum importante (plus d'un point) alors l'IV-IA1 (Ponsart *et al*, 2006b) est plus important tout comme l'IV-IAF (López-Gatius *et al*, 2003 ; Westwood *et al*, 2002) et il y a plus de MEP (Cutullic *et al*, 2012). De plus, si lors de la mise à la reproduction (deux mois postpartum), l'animal a une NEC inférieure à 2,5 (UNCEIA, 2010), alors, son IVV peut en être allongé. En début de lactation, une vache avec une NEC supérieure à 2,6 a une meilleure expression des chaleurs ce qui permet de réduire l'IV-IA1 (Madureira *et al*, 2015 ; UNCEIA, ReproGuide, 2010 ; Ponsart *et al*, 2006a). Enfin, lorsqu'un animal a une NEC inférieure à 2, la durée de l'œstrus et son expression sont détériorées entraînant une diminution de réussite au moment de l'IA (Madureira *et al*, 2015). Il semble donc important de bien surveiller les variations d'état des animaux pour limiter l'impact sur la reproduction.

Afin d'optimiser la reproduction, de nombreuses études ont été menées pour mettre en lumière le lien entre alimentation et reproduction (Friggens *et al*, 2010 ; Delaby *et al*, 2009 ; Burke et Roche, 2007).

Tableau 3 : Synthèse des notes d'état corporel (NEC) cibles sur l'échelle 0-5 (Bazin, 1984) et effets associés selon le type racial d'après Bedere et al, 2018 ; Madureira et al, 2015 ; UNCEIA, 2010 ; Roche et al, 2009 ; Ponsart et al, 2006a et López-Gatius et al, 2003

Moment clé	NEC cible VL	Effet estimé si non atteint
Vêlage	2 - 3	Retard de l'activité lutéale Allongement de l'IVV Difficulté de vêlage si trop haute Problèmes métaboliques si trop haute
Mise à la reproduction	2 - 2,6	Moindre expression des chaleurs Allongement de l'IV-IA1

IVV : intervalle entre deux vêlages **IV-IA1** : Intervalle entre le vêlage et la première IA

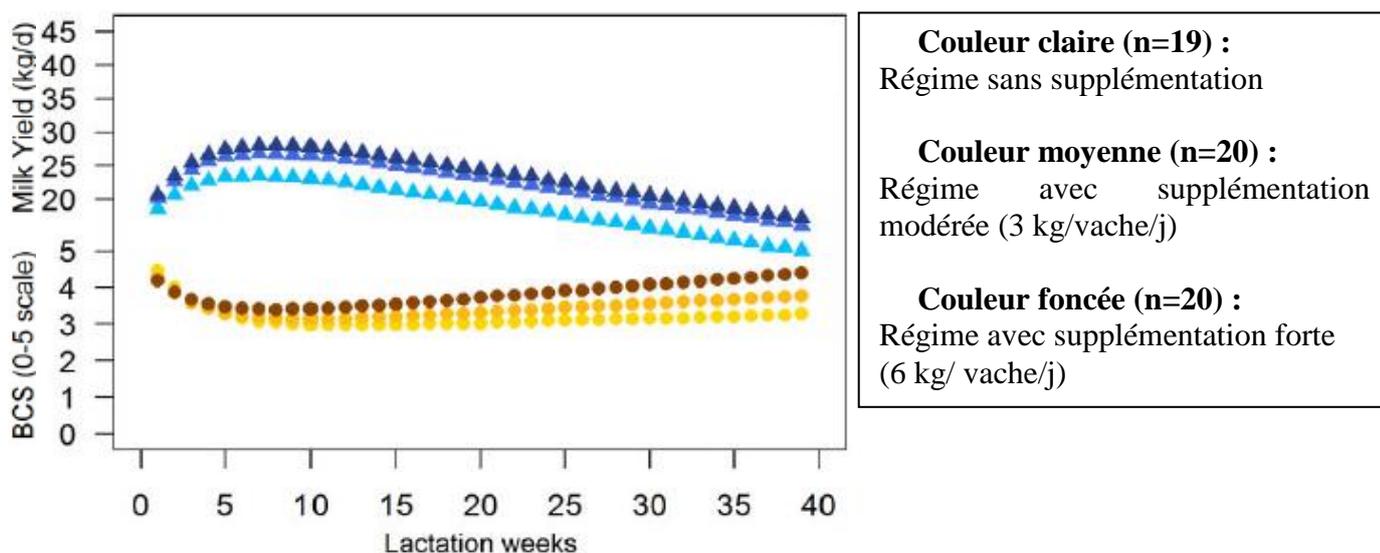


Figure 8: Rendement laitier (triangles bleus) de vaches prim'holstein et note d'état corporel (points oranges) durant la lactation (Bedere, 2016)

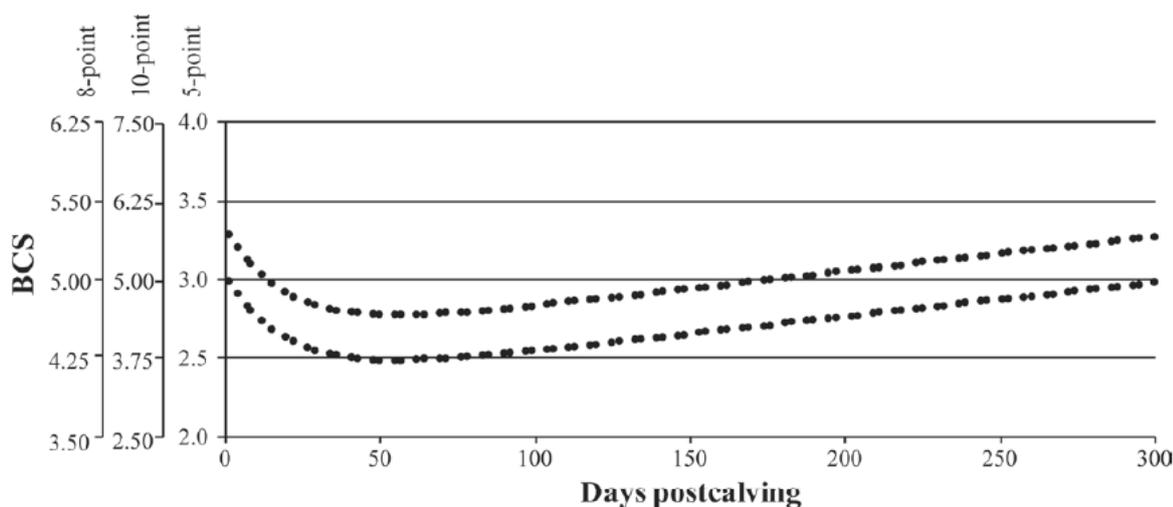


Figure 9 : Intervalle de profils acceptables permettant aux vaches laitières prim'holstein d'avoir une production laitière presque maximale sans compromettre la reproduction (Roche et al, 2009) aux échelles 1-5, 1-8 et 1-10 points

L'hypothèse souvent faite est qu'une alimentation plus riche en énergie va augmenter le taux d'IGF-1 plasmatique et donc favoriser l'activité ovarienne (Lucy *et al*, 2009). Toutefois, de nombreuses études mettent en avant la mobilisation des ressources disponibles au profit de la production laitière, comme expliqué précédemment. Cela induit alors l'absence d'effet du niveau d'alimentation sur la reproduction, en début de lactation et plus particulièrement au moment du pic lorsque les besoins sont les plus élevés (Delaby *et al*, 2009 ; Pedernera *et al*, 2008 ; Burke et Roche, 2007 ; Pryce *et al*, 2001). Toutefois, Cutullic *et al* (2010) montrent qu'une alimentation riche en énergie induit une moindre expression des chaleurs. En outre, une alimentation énergétique faible favorise l'expression des chaleurs (Madureira *et al*, 2015). Les étapes précoces (0 à 16 jours après fécondation ; Ledoux *et al*, 2006) du développement embryonnaire et la fécondation sont dégradées par un niveau d'alimentation énergétique faible. A l'inverse, les étapes tardives (16 à 45 jours après fécondation ; Ledoux *et al*, 2006) du développement embryonnaire sont impactées par un niveau d'alimentation énergétique élevé (Cutullic *et al*, 2010).

En conclusion, malgré un effet mitigé de l'alimentation sur les performances de reproduction au cours de la lactation, l'effet de la NEC sur ces performances a été démontré. Piloter cette NEC pourrait permettre aux éleveurs d'avoir de meilleures performances de reproduction dans leur troupeau. Il semble donc nécessaire d'affiner les recommandations existantes en fonction des variations des réserves corporelles et de leurs effets sur les différentes étapes de la reproduction.

1.3.2.4. Avec des objectifs cibles pour plus de réussite à la reproduction

La NEC est un indicateur du niveau des réserves corporelles sous cutanées qui renseigne l'éleveur sur l'état nutritionnel de son troupeau et qui peut, ainsi, l'aider à ajuster la conduite alimentaire de ces vaches au cours du cycle de production. Pour cela, elle doit être réalisée à des étapes clés de suivi du stade physiologique de l'animal comme le vêlage, le pic de lactation, la mise à la reproduction ou encore le tarissement. En effet, ces périodes sont des moments de mobilisation ou de reconstitution des réserves corporelles des animaux. Ainsi, des notes cibles ont été déterminées selon le stade physiologique de l'animal (Tableau 3) afin de mettre en lien les effets de la NEC avec les performances de reproduction et de lactation des animaux. Il est, donc, recommandé d'avoir des animaux avec une NEC minimale de 2 lors du vêlage. De plus, il est souhaitable d'avoir un animal n'ayant pas trop perdu d'état (moins d'1 point de NEC ; Ponsart *et al*, 2006b) lors de la mise à la reproduction (autour de 2 mois post-partum) et se situant autour de 2 à 2,6 point de NEC (UNCEIA, 2010).

Les vaches laitières mobilisent leurs réserves corporelles pour répondre principalement à la fonction de production laitière (Figure 8 ; Bedere, 2016). La première période de lactation est une phase où la production est en augmentation jusqu'au pic de lactation, qui demande beaucoup d'énergie à la vache (d'où une perte d'état), puis la production diminue progressivement jusqu'au tarissement (d'où une reconstruction des réserves corporelles). Le niveau de production est très variable d'un animal à un autre d'une part du fait de ses caractéristiques intrinsèques (parité, race, génétique ; Jarrige et Rosseti, 1957) et des caractéristiques de son environnement (alimentation ; Hoden et Coulon, 1991 ; Spike et Freeman, 1967). Par conséquent, un animal qui produit moins va également mobiliser moins d'énergie pour la fonction de production.

Par ailleurs, Roche *et al* (2009) ont défini des profils de NEC (Figure 9) permettant aux vaches de produire du lait, sans beaucoup de restriction, en évitant de détériorer les performances de reproduction. A noter que cette figure est sur trois échelles de notation différentes. Ces trois échelles diffèrent de celle de Bazin (1984). Pour pouvoir se situer, la NEC au vêlage doit être comprise entre 2,5 et 3 puis doit tendre vers 2 à 2,3 autour de 50 jours PP et enfin elle doit retrouver sa valeur de départ autour de 300 jours PP pour permettre une bonne préparation de la lactation suivante.

Tableau 4 : Tableau synthétique de l'effet de la NEC et du niveau d'alimentation sur les performances de reproduction

Indicateurs	Inférieure aux recommandations		Perte d'état PP *	Alimentation énergétique riche	Alimentation énergétique faible
	NEC vêlage	NEC mise à la reproduction			
IVV	↗		↗		
Durée de l'anoestrus	↗		↗	↗	
IV-C1	↗				
IV-IA1	↗	↗	↗		
IV-IAF	↗		↗		
Expression des chaleurs	↘	↘		↘	↗
Réussite à l'IA	↘				
MEP	↗		↗		↗
MET				↗	

↗ : Augmente la valeur de l'indicateur ↘ : Diminue la valeur de l'indicateur ■ : Dégrade la valeur de l'indicateur ■ : Améliore la valeur de l'indicateur * : Pas de durée précise **IVV** : Intervalle entre deux vêlages **IA** : insémination artificielle **IV-C1** : Intervalle vêlage première chaleur **IV-IA1** : Intervalle vêlage première IA **IV-IAF** : Intervalle vêlage IA fécondante **MEP** : Mortalité embryonnaire précoce **MET** : Mortalité embryonnaire tardive **PP** : postpartum

Des interactions ont été mises en évidence entre la NEC et les performances de reproduction (Tableau 4). Afin de piloter, au mieux, les réserves corporelles il semble donc intéressant de suivre de manière régulière la NEC et de la confronter aux valeurs de références. Cela est aujourd'hui envisageable grâce au développement de nouveaux outils, automatisés, de phénotypage de l'état corporel.

1.4. De nouveaux outils à maîtriser

Aujourd'hui, il n'existe pas d'utilisation systématique et très poussée de la NEC. De plus, elle est réalisée sur plusieurs animaux au même stade physiologique pour évaluer le niveau d'alimentation globale du troupeau. En effet, la NEC n'est pas toujours réalisée aux moments clés du suivi du stade physiologique de l'animal. Effectuer une note d'état corporel, par observation et/ou palpation, de l'ensemble d'un troupeau est chronophage et difficile à réaliser de manière individuelle et en continu. En outre, le niveau de précision d'une NEC peut être erroné car, pour être répétable ou reproductible, il est nécessaire d'entretenir la compétence et de se former en continu. En effet, un notateur peut être influencé par les animaux déjà évalués et ne pas fournir une note objective de l'animal. De même, deux notateurs peuvent attribuer une note différente à un même animal, au même moment.

Les nouvelles technologies permettent de faciliter le quotidien des éleveurs, souvent par un gain de temps (Allain *et al*, 2014). A partir de ces nouvelles technologies, l'éleveur peut piloter son cheptel et avoir une meilleure vision de ce qui se passe, lui permettant d'agir aux bons moments.

Il existe, aujourd'hui, différents outils pour réaliser une NEC automatisée. En effet, des caméras ont été développées pour filmer les animaux lors de la sortie de traite où dans les zones de contentions. Elles permettent d'apporter une information quotidienne sur la NEC en identifiant l'animal grâce à une boucle RFID (Radio frequency identification). Cependant cette technologie n'a été développée que sur la race prim'holstein et est testée sur les autres principales races laitières. L'avantage majeur de ces caméras est la réalisation de la mesure sans prise de temps de la part de l'éleveur et sans manipulation supplémentaire des animaux. Un deuxième type d'outil est une application permettant, à l'utilisateur, de scanner un animal avec son smartphone ou un outil digital (une canne scanner, par exemple). Cette application permet à l'éleveur d'être acteur dans le suivi de son troupeau et elle est facile d'utilisation. Cependant, comme le système des caméras, elle n'est applicable qu'aux vaches de race prim'holstein. Cette application demande du temps pour la réalisation des mesures de NEC. Enfin, un portique a été développé pour scanner les animaux au niveau du distributeur d'aliment concentré (DAC) ou encore à la sortie de traite. Ainsi, une NEC, pour l'ensemble des animaux du troupeau, est assez rapidement obtenue. Cette note est réalisée de manière plus fréquente et permet un ajustement de la ration à l'échelle individuelle, si nécessaire. Cependant, ces outils restent encore à valider car les résultats de l'identification des points de repères anatomiques sont à améliorer.

Grâce à la NEC automatisée, l'effet notateur est évité. En effet, une NEC automatisée (portique) est 3 fois plus répétable et 2,8 fois plus reproductible qu'une NEC manuelle (Fischer *et al*, 2015). Ainsi, l'ensemble de ces outils permet d'obtenir une information plus rapidement et un suivi simplifié. Cependant, ces outils sont coûteux (5 000 à 12 000 € ; DeLaval, 2018 ; Protrack, 2018) et manquent de précision pour les animaux « extrêmes » (très maigres ou très gras). De plus, la plupart de ces outils ont été mis au point à partir de vaches laitières de race prim'holstein. Il reste encore à développer ces outils pour qu'ils soient applicables à d'autres races.

Pour conclure, il existe des interactions entre la NEC et la reproduction et de nombreuses études ont été menées sur ce thème. Cependant, il n'y a pas de recherches effectuées sur les profils d'évolution de la NEC, sur l'ensemble de la lactation, en lien avec les performances de reproduction. Les recherches déjà réalisées portent sur les NEC cibles aux moments clés du suivi des animaux. C'est pourquoi nous étudierons la question :

« La note d'état corporel, au cours de la lactation, peut-elle être considérée, seule, comme un indicateur qui traduit la réussite à la reproduction des vaches laitières? »

Les hypothèses réalisées sont que :

- la dynamique des réserves corporelles, seule, a un effet sur les performances de reproduction ;
- la dynamique des réserves corporelles, seule, permet de prédire les performances de reproduction.

L'objectif de l'étude sera donc de déterminer des profils d'évolution de NEC qui permettraient d'expliquer les performances de reproduction des vaches laitières.

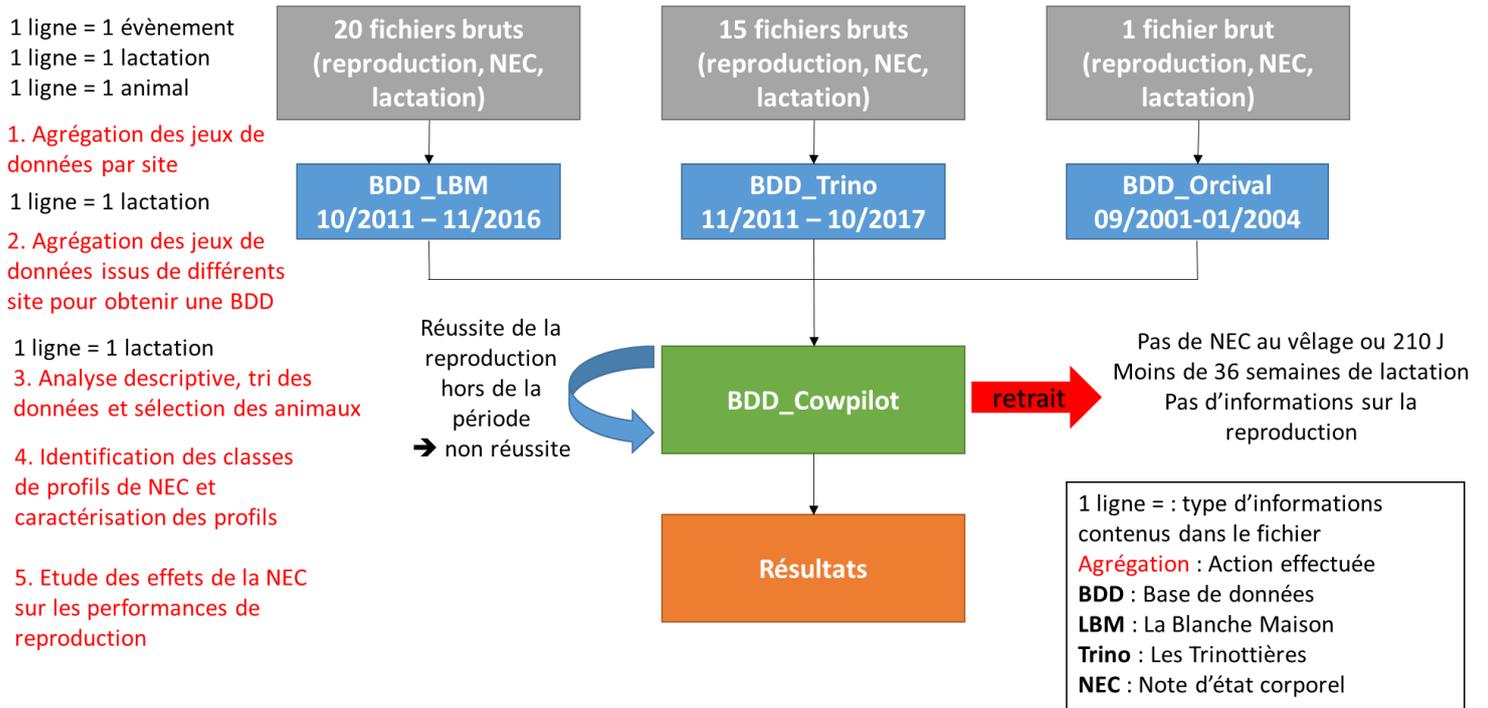


Figure 10 : Synthèse de la méthode employée

Tableau 5 : Fréquence de mesure des notes d'état corporel (NEC) selon le site expérimental

Fermes expérimentales	Fréquence de mesure des NEC	Début des mesures	Fin des mesures
Trinottières	Tous les 15 jours	Premier vêlage (fin août - début septembre)	Fin juin
Blanche Maison	Mensuelle	Autour du vêlage	Fin de lactation
Orcival	Mensuelle	Autour du vêlage	Fin de lactation

2. Matériel et méthodes

Les objectifs de ce travail ont été :

- 1/ de qualifier des profils de NEC pour chaque lactation dans les troupeaux,
- 2/ d'analyser l'existence de profils-types et les modéliser,
- 3/ de déterminer l'existence d'un effet du profil de NEC sur les performances de reproduction.

Pour cela, l'étude s'est appuyée sur des données collectées, au sein de fermes expérimentales, sur plusieurs années, avec des vaches de race prim'holstein et normande. Il a été nécessaire d'avoir les informations de NEC, de reproduction et de lactation pour pouvoir caractériser les animaux et les profils de NEC. Les données ont, donc, été agrégées à partir de fichiers bruts afin d'obtenir une base de données unique et harmonisée pour réaliser des analyses statistiques (Figure 10). Ce travail a eu une visée exploratoire pour orienter les travaux du projet CowPILOT et s'est basé sur la création de profil sans *a priori*.

2.1. Constitution d'un groupe de travail pour valider la démarche d'analyse des données

Ce projet étant un projet en partenariat avec trois structures, de nombreuses réunions ont été conduites afin de définir les attentes et méthodes à employer. Un groupe de travail spécifique à la première partie du projet (études exploratoires autour de la NEC, ses variations et leurs effets sur les performances de reproduction) a servi d'appui tout au long de ce travail. En effet, les travaux attendus ont été séparés entre deux stagiaires, afin de ne pas refaire deux fois les mêmes analyses. De plus, le fait d'être deux stagiaires à travailler sur un même projet a permis de répartir les fermes supports (Annexe 2) et ainsi diminuer la charge de travail très importante.

L'ensemble des méthodes à tester a été proposé au groupe de travail, les données ont été présentées et les résultats préliminaires ont été discutés. Ce groupe de travail a permis de tester différentes approches dans un laps de temps assez court.

2.2. Dispositif expérimental

2.2.1. Fermes supports : origine des données

Le projet CowPILOT s'est appuyé sur les données de 7 fermes expérimentales (Annexe 2). L'étude a porté sur une ferme de l'INRA (Orcival) et deux fermes expérimentales (les Trinottières et la Blanche Maison) du réseau « F@rm XP » (ce réseau national est un partenariat entre IDELE et les Chambres d'Agricultures ; IDELE, 2016). Les animaux présents sur ces fermes ont été de race prim'holstein ou normande. Ces races laitières sont les deux races les plus représentées de la filière bovine laitière en France et sont, dans certains troupeaux, sujettes à des échecs de la reproduction marqués comme cela a été développé dans la première partie de ce mémoire.

L'étude que j'ai menée durant mon stage a porté sur trois de ces sept fermes :

- La ferme d'Orcival se trouvant dans le Puy-de-Dôme (63)
- Le site des Trinottières se situe en Maine et Loire (49)
- La ferme de la Blanche Maison est localisée dans la Manche (50).

Les données zootechniques collectées ont été des données de reproduction (date d'évènement, réussite ou non aux IA, problèmes sanitaires liés à la reproduction), de lactation (production laitière, taux butyreux et protéique, date de tarissement, matière utile) et de NEC (note et date). Le relevé de NEC a été réalisé tous les 15 jours ou tous les mois (Tableau 5) selon le site expérimental à partir du vêlage et les données laitières utilisées ont été des relevés mensuels.

Pour permettre l'édition de profils de NEC les plus complets possible, nous nous sommes basés sur des enregistrements de données le plus exhaustifs possibles et réalisés depuis plusieurs années (depuis 2000 pour Orcival et la Blanche Maison ; 2010 pour les Trinottières). La méthode des notes attribuées est harmonisée entre les notateurs afin d'avoir un suivi des animaux le plus juste possible.

2.2.2. Règles de conduite différente des troupeaux

Trinottières

Le troupeau est constitué de vaches de race prim'holstein. La ferme est équipée d'auges individuelles qui permettent de tester l'efficacité alimentaire des animaux en lien avec la génétique. La station a aussi pour vocation de travailler sur la conduite des veaux et génisses. L'alimentation des vaches laitières est basée sur l'ensilage de maïs.

La ferme réalise des vêlages d'automne sur une période de 6 mois et a pour objectif de réaliser les premiers vêlages à 24 mois. La mise à la reproduction est prévue après 60 jours PP. Cela peut être plus tôt si les vaches sont observées plusieurs fois en chaleurs, avant ce délai. Cela peut être plus tard si les animaux ne sont pas vus en chaleurs par les éleveurs. La détection des chaleurs est réalisée par l'utilisation de podomètre et lors de la manipulation des animaux. Enfin, une échographie est réalisée 35 jours après l'IA pour confirmer ou non la gestation.

Orcival

Cette ferme de références pour les systèmes laitiers a un troupeau constitué de vaches de race prim'holstein. La base de l'alimentation du troupeau est l'ensilage d'herbe.

La ferme réalise des vêlages d'automne avec pour objectif de réaliser les premiers vêlages à 24 mois. La période de reproduction dure 6 mois. La mise à la reproduction est prévue après 30 jours PP. Tout comme pour la ferme précédente, cette règle peut être adaptée en fonction de la cyclicité des animaux. La détection des chaleurs est réalisée par observation visuelle des animaliers lors de la manipulation des vaches. Sur cette ferme, une échographie est aussi réalisée 28 jours après l'IA pour confirmer ou non la gestation, puis une deuxième pour vérifier qu'il n'y a pas eu d'avortement.

La Blanche Maison

Ce système, en polyculture élevage avec des vaches de race normande, teste des conduites innovantes des animaux et des surfaces en agroécologie. L'alimentation des vaches laitières est basée sur le pâturage.

La ferme réalise des vêlages groupés au printemps et en automne avec pour objectif de réaliser les premiers vêlages à 30 mois. Les périodes de reproduction dure 3 mois. La mise à la reproduction est prévue après 45 jours PP. Cela peut être plus tard si les animaux ne sont pas vus en chaleurs par les éleveurs. La détection des chaleurs commence 3 semaines avant le début de la période de reproduction avec l'utilisation d'un capteur et avec des observations visuelles quatre fois par jour, pendant 15 minutes à chaque observation. Tout comme sur les autres fermes, une échographie est réalisée pour confirmer la gestation, à moment fixe (4 par an).

Une vache qui ne serait pas gestante dans la bonne période peut être prolongée en lactation jusqu'à la période de reproduction suivante sous les conditions suivantes :

- Production laitière supérieure à 12 kg/j pour les primipares et 15 kg/j pour les multipares
- Pas de problème leucocytaire et mamelle en bon état
- Pas de boiterie et membres en bon état

Tableau 6 : Informations contenues dans la base de données

Base de données	Vache laitière	NEC	Reproduction	Lait
Sous thèmes	<ul style="list-style-type: none"> - Numéro - Date de naissance - Rang de lactation - Date de vêlage - Ferme d'élevage - Race - Niveau d'alimentation - Date du premier vêlage 	<ul style="list-style-type: none"> - Date - Semaine de lactation - Note 	<ul style="list-style-type: none"> - Date de vêlage N et N+1 - Problème au vêlage - Date des IA - Date IAF - IVV - IV-IA1 - IA1-IAF - Devenir de l'animal - Gestante à 100 jours - Taux de réussite en IA1 - Taux de réussite en IA1+2 - Taux de revêlage 	<ul style="list-style-type: none"> - Production totale à 44 sem (kg) - Production maximale (kg) - Durée de la lactation (jours) - TB moyen à 44 sem (g/kg) - TP moyen à 44 sem (g/kg) - MG totale à 44 sem (kg) - MP totale à 44 sem (kg) - MU totale 44 sem (kg) - Date de tarissement

IA : insémination artificielle **IAF** : insémination artificielle fécondante **IA1-IAF** : intervalle entre la première IA et l'IAF **IVV** : intervalle entre deux vêlages **IV-IA1** : intervalle entre le vêlage et la première insémination **Sem** : semaine

2.3. Sélection des données

2.3.1. Préparation des données

La liste des variables mobilisées pour caractériser les vaches, leur état corporel, leurs performances de reproduction et de production laitière est reportée dans le tableau 6. Plusieurs fichiers ont été disponibles avec un niveau d'information décrit soit à l'événement, soit à la lactation ou encore à l'animal (Figure 10). Afin de rassembler l'ensemble de ces données sous une seule et même base de données, mais aussi pour répondre aux besoins pour les analyses à suivre sur ces données, la lactation a été retenue comme unité de constitution de la base de données. Pour y parvenir, dans un premier temps à partir du numéro national d'identification, l'ensemble des dates de vêlages de chaque vache a permis de définir le rang de lactation associé : ce qui a permis d'obtenir une base avec une ligne par lactation/animal. Avec les différentes dates de vêlages associées, toutes les autres informations ont pu être réparties dans chacune des lactations/animal correspondantes.

La forme des fichiers d'origine ont varié entre les différentes fermes. Pour Orcival, l'ensemble des données ont été sous un seul et même fichier. En ce qui concerne les Trinottières et la Blanche Maison, les données sont provenues respectivement de 15 et 20 fichiers. Pour ces deux dernières fermes, les fichiers ont nécessité une mise en forme et une manipulation des données car elles n'ont pas été utilisables en l'état : plusieurs formats, des données manquantes, des structures de tableau non utilisables... Ainsi, il a été nécessaire de créer des jeux de données ayant pour individu statistique une lactation par animal. Dans un second temps, il a fallu recouper les différents jeux de données disponibles pour obtenir l'ensemble des informations pour tous les animaux et créer une base de données homogène.

2.3.2. Tri des données

Pour la réalisation des analyses spécifiques afin de répondre à la problématique de ce mémoire, plusieurs règles ont été définies pour inclure ou exclure des lactations :

- **NEC**
 - Chaque lactation/animal a dû avoir au minimum 5 mesures de NEC (pour les analyses statistiques ; cf. partie 2.5.) au cours de la lactation (après vêlage). L'une d'entre elle devait avoir lieu « au vêlage ». Cette NEC était défini i) si une NEC a été réalisée dans les 30 jours qui précèdent le vêlage, ii) sinon, celle du jour du vêlage a été retenue et iii) enfin, si ces deux informations n'ont pas été disponibles, elle a été estimée par extrapolation. Pour cette dernière possibilité, une note dans les 7 premiers jours de lactation a été nécessaire. Si aucune des possibilités n'ont été remplies alors la lactation/animal n'a pas été retenue.
 - Les périodes où la NEC a été disponible ont déterminé les périodes d'étude des différentes fermes.
 - Si un écart, de plus de 8 semaines, est constaté entre deux mesures de NEC alors les NEC après la dernière mesure conforme ont été supprimées manuellement pour ne pas fausser les analyses.
- **Reproduction et production laitière**
 - Il était également important d'obtenir l'ensemble des informations en lien avec la reproduction et la production laitière pour chaque lactation/animal sur les périodes correspondantes. Ces informations ont permis de caractériser les animaux et de décrire les profils de NEC.

- Enfin, pour qu'une vache soit sélectionnée, elle a dû avoir eu une lactation d'au moins 36 semaines et avoir été mise à la reproduction (au moins une IA). Si toutes les informations n'étaient pas disponibles et les conditions non réunies, alors, la lactation/animal était exclue de la base de données.

- **Périodes de reproduction**

Ces périodes ont été bornées en fonction des stratégies de reproduction de chaque ferme. Ainsi, toute vache ne réussissant pas à être gestante dans la période de reproduction autorisée mais réussissant en dehors de celle-ci a été considérée vide. En effet, les IA réalisées en dehors de la période de reproduction ont été supprimées et les indicateurs de réussite ont été adaptés en conséquence.

Cela a permis d'être plus rigoureux dans l'analyse et de limiter les animaux avec des valeurs extrêmes, induisant une variabilité importante dans les résultats, qui rendent difficile les interprétations des analyses utilisées.

- **Âge au 1^{er} vêlage**

Un dernier critère de sélection a été mis en place pour les fermes (Orcival et les Trinottières) réalisant du vêlage à 24 mois. Dans ces fermes où la reproduction n'est pas étalée sur l'ensemble de l'année. Des animaux conduits pour un objectif d'âge au premier vêlage à 24 mois qui sont en échec de reproduction sont reportés sur la période de reproduction suivante pour un premier vêlage à 36 mois. Or, dans cette situation pour ces derniers, ils ont une alimentation non-adaptée pour un objectif d'âge au premier vêlage à 36 mois et ont atteint un niveau de croissance, en comparaison avec une mise à la reproduction pour un premier vêlage 24 mois très différent. En conséquence, la comparaison des premières lactations de ces deux populations n'est pas judicieuse. Pour cette raison, dans ces fermes les vêlages « subis » à 36 mois ont été retirés de la base de données.

2.4. Analyses descriptives des données

A partir de la base de données, des analyses exploratoires (moyennes et dispersions des variables) ont été réalisées afin de comparer les performances de reproduction des fermes (entre elles et avec la moyenne nationale) sur l'ensemble des périodes étudiées, en fonction de la race des vaches. Ces analyses descriptives des données ont été réalisées afin de mieux connaître le jeu de données et de déterminer les variables qui ont pu être influencées par les profils de NEC.

2.4.1. Variables décrites

Les variables de la base de données ont été analysées pour décrire leur distribution. Pour cela, des histogrammes ont été réalisés. De plus, un tableau mettant en évidence les quartiles 1, 2 et 3 des variables quantitatives a été réalisé. Ces variables sont décrites ci-dessous :

Performances de reproduction étudiées :

- IVV
- IV-IA1
- IA1-IAF
- TRIA1 (nombre de vaches gestantes à l'issue de la première insémination/nombre de vaches mises à la reproduction *100)
- TRIA 1 et 2 (nombre de vaches gestantes à l'issue de la première ou deuxième insémination/nombre de vaches mises à la reproduction *100)
- TRIA 1, 2 ou 3 (nombre de vaches gestantes à l'issue de la première, deuxième ou troisième insémination/nombre de vaches mises à la reproduction *100)

- Taux de vaches gestantes (nombre de vaches gestantes à l'issue de la période de reproduction/nombre de vaches mises à la reproduction *100)
- Taux de revêlage (nombre de vaches vêlant à l'issue de la période de reproduction/nombre de vaches mises à la reproduction *100)
- Taux de revêlage à 90 jours PP (nombre de vaches vêlant à l'issue de la période de reproduction et fécondées avant 90 jours PP/nombre de vaches mises à la reproduction*100) qui traduit la rapidité des vaches à être gestante après le vêlage.
- Nombre d'IA reçue par vache traduit la réussite à l'IA

Performances laitières étudiées :

- Production laitière totale (sur 305 jours de lactation)
- Production laitière maximale (sur 305 jours de lactation)
- Durée totale de la lactation
- Taux protéique (moyenne sur 305 jours de lactation)
- Taux butyreux (moyenne sur 305 jours de lactation)
- Matière grasse totale (sur 305 jours de lactation)
- Matière protéique totale (sur 305 jours de lactation)
- Matière utile totale (sur 305 jours de lactation)

NEC :

- NEC au vêlage,
- NEC à 30, 50, 70, 120 et 210 jours PP
- Jour de la NEC minimale (entre 0 et 210 jours PP)
- NEC minimale (entre 0 et 210 jours PP)
- Perte maximale

De plus, les quartiles de ces variables quantitatives ont été comparés une fois les profils établis.

2.4.2. Validation des données

Après la construction et l'alimentation de la base, les données ont été validées. Pour y parvenir, plusieurs méthodes ont été utilisées :

- 5 % des lactations/animal ont été regardées de manière aléatoire afin de vérifier que les données mises en forme correspondaient toujours aux informations sources ;
- la distribution des différentes variables a été réalisée afin de mettre en évidence des valeurs aberrantes ;
- les performances de reproduction, ainsi calculées, ont été comparées à une base de référence (Bidan *et al*, 2018 ; www.reproscope.fr) pour vérifier la cohérence des valeurs obtenues.
- les mesures de NEC anormales (exemple : à 0 ou plus de 5) ont été manuellement supprimées.

2.5. Traitements statistiques

Les logiciels R Studio, version 1.1.463, et excel 2013 ont été le support des analyses statistiques réalisées. Une interpolation a été réalisée pour avoir plus de données. De même, une classification a été réalisée pour discriminer les animaux en fonction de leur profil de NEC grâce à une analyse en composantes principales (ACP) et une classification ascendante hiérarchique (CAH). Les comparaisons statistiques ont été réalisées par analyse des variances ou grâce à un test du Khi2, selon le type de variable (quantitative ou qualitative). Le test de Tukey a été utilisé pour les comparaisons multiples. En tout, cinq modèles statistiques différents ont été utilisés dans cette étude. Ces modèles sont présentés ci-dessous :

○ **Modélisation de la courbe de NEC : Spline**

La spline permet d'estimer une courbe de NEC, sans mesure hebdomadaire continue, pour tous les animaux. Pour cela, une interpolation polynômiale (ici de degré 3) par morceau est réalisée. Ainsi, des mesures hebdomadaires sont disponibles pour associer les performances de reproduction à une NEC (à titre d'exemple, obtenir une valeur de NEC à l'IA 1). La spline est très sensible à des variations « ponctuelles ». En effet, si les enregistrements montraient un animal qui perdait rapidement de l'état et en reprenait rapidement, alors la spline pouvait fournir des valeurs aberrantes. Il a, donc, été important de vérifier l'ensemble des courbes fournies par ce modèle.

○ **Caractérisation multivariée des profils de NEC**

L'objectif d'une analyse en composantes principales est de résumer un tableau de données individus x variables. L'ACP permet d'étudier les ressemblances entre individus du point de vue de l'ensemble des variables et dégage des profils d'individus. Elle permet également de réaliser un bilan des liaisons linéaires entre variables à partir des coefficients de corrélations. Ces études étant réalisées dans un même cadre, elles peuvent être reliées, ce qui permet de caractériser les individus ou groupes d'individus par les variables et d'illustrer les liaisons entre variables à partir d'individus caractéristiques (Cornillon *et al*, 2010).

Lors de l'ACP, il est possible de choisir le nombre d'axes à analyser. La manière la plus courante consiste à représenter le diagramme en barres des valeurs propres ou des inerties associées à chaque axe. Il faut alors chercher une décroissance ou une cassure apparente sur le diagramme en bâtons.

Les variables envisagées pour la prise en compte de l'ACP ont été les suivantes :

- la NEC au moment du vêlage,
- la NEC à 56 jours,
- sa dynamique (prise d'état, perte d'état ou état stable ; valeur de la semaine suivante - valeur de la semaine précédente),
- la variation de NEC entre le vêlage et 56 jours,
- la NEC à l'IA1,
- (prise d'état, perte d'état ou état stable ; valeur de la semaine suivante - valeur de la semaine précédente),
- la variation de NEC entre le vêlage et l'IA1,
- la NEC minimale (entre 0 et 120 jours),
- la perte de NEC maximale (entre 0 et 120 jours),
- la NEC minimale (entre 0 et 210 jours),
- le jour de la NEC minimale,
- la perte de NEC maximale (entre 0 et 210 jours),
- la NEC à 120 jours,
- la dernière NEC enregistrée,
- la NEC à 210 jours.

Le choix des variables définitives est décrit dans la partie 3.3.1. des résultats.

○ **Discrimination des animal/lactation en fonction de leur variation de NEC**

La classification ascendante hiérarchique a pour objectif de construire une hiérarchie sur les individus et se présente sous la forme d'un dendrogramme. Cette classification permet de regrouper des individus dans des classes les plus homogènes possibles à partir d'un jeu de données individus x variables. Cette méthode nécessite de choisir : une distance entre individus, ou plus généralement une dis-similarité et un indice d'agrégation. Il est souvent recommandé d'utiliser l'indice d'agrégation moyen ou l'indice d'agrégation de Ward (Cornillon *et al*, 2010).

Lors de la CAH, il est nécessaire de déterminer le nombre de classes. Alors, en se basant sur le graphique des gains d'inertie, il est possible de déterminer le nombre de classes à choisir.

○ **Comparaisons statistiques des variables quantitatives**

L'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur est une méthode statistique permettant de modéliser la relation entre une variable à expliquer quantitative (notée Y) et une variable explicative qualitative à I modalités (notée A). L'objectif principal de l'ANOVA à un facteur est de comparer les moyennes empiriques de Y pour les I modalités de A. L'analyse de variance à un facteur peut donc être considérée comme une extension du test de comparaison de deux moyennes.

L'analyse de variance à un facteur revient donc à étudier l'effet d'un facteur A sur la variance quantitative Y. Cela donne en termes de modélisation :

$$Y_{i,j} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad i=1, \dots, I \text{ et } j = 1, \dots, n_i$$

avec n_i l'effectif de la modalité i , $Y_{i,j}$, la j^e valeur observée pour la sous-population i , μ_i la moyenne de sous-population i et ε_{ij} le résidu du modèle. Un individu est donc défini par le couple (i,j) . L'analyse de variance revient alors à tester l'égalité des μ_i . Enfin, après toute modélisation, il est important d'analyser les résidus car cela permet de vérifier les ajustements individuels du modèle (points aberrants) et l'ajustement global (Cornillon *et al*, 2010).

○ **Comparaisons statistiques des variables qualitatives**

L'objectif du test du khi-deux est de tester l'indépendance entre deux variables qualitatives. Pour tester l'indépendance de deux variables qualitatives, l'hypothèse H_0 : « les deux variables sont indépendantes » est testée contre l'hypothèse H_1 : « les deux variables ne sont pas indépendantes ». Pour cela, la statistique de test suivante est construite :

$$X^2_{obs} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \frac{(n_{ij} - T_{ij})^2}{T_{ij}}$$

où n_{ij} est l'effectif observé pour la modalité i de la première variable et la modalité j de la deuxième et T_{ij} correspond à l'effectif sous l'hypothèse d'indépendance et I et J sont les nombres de modalités de chacune des variables. Sous l'hypothèse H_0 , X^2_{obs} suit une loi du Khi 2 à $(I-1) \times (J-1)$ degrés de liberté (Cornillon *et al*, 2010).

○ **Comparaisons des groupes deux à deux**

Le test de comparaisons multiples a pour but de distinguer parmi les échantillons s'il y en a qui diffèrent significativement des autres. Pour cela, le test compare les échantillons deux par deux et calcule dans chaque cas :

$$Q_{ij} = \frac{|M_{ki} - M_{kj}|}{\sqrt{Mintra/n}}$$

où $Mintra$ est la moyenne des inerties intra-groupes (donc le quotient de l'inertie intra par le nombre de degrés de liberté intra) et n est le nombre d'observations dans chaque échantillon.

Ainsi, de nombreuses analyses ont été mises en œuvre afin d'estimer si la NEC et sa dynamique au cours de la lactation ont un effet sur les performances de reproduction. Les résultats de ces analyses ont été développés dans la partie suivante.

Tableau 7 : Impact des critères de tri sur le nombre de lactations de la base de données

Fermes	Nombre de lactation au départ	Au moins une IA	36 semaines de lactation	NEC au vêlage	NEC à 210 jours	> 5 valeurs de NEC postpartum	Vêlage tardif	Nombre de lactation final
Trinottières	819	-230	-84	-423	-470	-47	-68	300
Blanche Maison	117	-2	-17	-33	-7	-44	0	69
Orcival	169	-4	-10	-2	-5	-21	-17	110

IA : insémination artificielle **NEC** : note d'état corporel

Tableau 8 : Echantillon utilisé pour l'étude

Fermes expérimentales	Nombre d'animaux	Nombre de lactations	Période étudiée	Race	Rang de lactation		
					1	2	3+
Les Trinottières	190	300	11/2011-10/2017	Prim'holstein	134	90	76
La Blanche Maison	0	0	-	Normande	-	-	-
Orcival	55	110	09/2001- 01/2004	Prim'holstein	51	35	24

Tableau 9 : Comparaison des performances de reproduction des fermes expérimentales à la médiane des moyennes françaises (prim'holstein)

Indicateurs	Les Trinottières	Orcival	Moyenne 2015-2016		
			Q1	Q2	Q3
IVV (jour)	390 ± 43	376 ± 28	409	426	447
IV-IA1 (jour)	84 ± 26	85 ± 27	87	98	111
IA1-IAF (jour)	31 ± 36	13 ± 21	31	42	55
TRIA1 (%)	34	53	54	46	38
TRIA1+2 (%)	56	70	78	71	63
TRIA1+2+3 (%)	69	75	-	-	-
Taux de gestation (%)	83	75	91	86	80
3IA+ (%)	37	16	17	24	32
Nombre d'IA/ vache	2,3 ± 1,42	1,7 ± 1,04	1,7	1,9	2,2

IA : insémination artificielle **IA1-IAF** : intervalle entre la première IA et l'IAF **IVV** : intervalle entre deux vêlages **IV-IA1** : intervalle entre le vêlage et la première insémination **TRIA1** : taux de réussite en première insémination **3IA+** : pourcentage de vaches nécessitant 3 inséminations ou plus.

3. Résultats

3.1. Description des populations étudiées

Les fermes sélectionnées pour la réalisation de ce mémoire ont été celles des Trinottières, de La Blanche Maison et d'Orcival (Annexe 2). Les tris réalisés et les règles de sélection appliquées à l'ensemble des données ont fortement réduit le nombre de lactations utilisables pour les analyses (Tableau 7). Au final, 37, 59 et 65% des lactations ont été conservées respectivement pour les Trinottières, la Blanche Maison et Orcival. La diminution des échantillons peut entraîner une perte de puissance statistique lors des analyses. Cependant, cette sélection permet de supprimer les valeurs aberrantes qui induisent une forte variabilité au sein du jeu de données et faussent les résultats des analyses.

Les vaches de La Blanche Maison ont eu des courbes de NEC aberrantes après interpolation. En effet, certains animaux ont semblé perdre beaucoup d'état (comme juste après le vêlage) mais au milieu de la lactation. Les données de NEC étaient saisies manuellement, il a été donc difficile de savoir d'où a pu provenir cette incohérence. En outre, les animaux n'ont pas été identifiés par leur numéro de boucle dans cette ferme. Cela a impliqué des récurrences de numéro au bout de quelques années. Ainsi, certaines informations ont dû être vérifiées pour attribuer les performances correspondantes aux animaux. Il a, parfois, été difficile de réussir à mettre en relation toutes les performances (lactation, reproduction, NEC) des animaux. De plus, les règles de sélection des animaux n'a permis de retenir que 69 lactations exploitables, dans cette ferme. Un faible échantillon risquait de fausser les analyses. Par conséquent, il a été décidé de ne pas utiliser la ferme de La Blanche Maison pour ce mémoire, même si cela écartait le fait d'avoir la race normande dans le jeu de données traité.

L'échantillon sur lequel s'est appuyé cette étude est décrit dans le tableau 8. Plusieurs critères de sélection ont pu s'appliquer à un même lactation/animal. Cela a représenté, donc, en tout 245 animaux et 410 lactations sur la période de 2001 à 2004 et 2011 à 2017.

3.2. Description des populations sélectionnées

Les fermes d'Orcival et des Trinottières ont des systèmes de conduites assez similaires. Ces deux fermes réalisent des vêlages d'automne (Annexe 3). Les périodes de reproduction de ces fermes a été de six mois. L'alimentation des animaux de ces fermes s'est basée sur une ration à base d'ensilage. La ferme des Trinottières a réalisé des essais en lien avec la conduite alimentaire (un essai de 3 ans avec ration simple / ration complexe ou un essai de 3 ans avec ration haut / bas permettant différente expression du potentiel génétique ; Jurquet *et al*, 2018 ; Rouille *et al*, 2015). La ferme d'Orcival a travaillé sur les effets de la mono-traite et du robot sur la qualité du lait (Pomiès *et al*, 2010, 1998).

3.2.1. Les Trinottières

3.2.1.1. Performances de reproduction

L'IV-IA1 moyen a été de 84 ± 26 jours (Tableau 9 ; Annexe 4). Le taux de réussite en première IA a été de 34%. Il a fallu compter, en moyenne, $2,3 \pm 1,4$ IA par vache et 37% des vaches ont eu 3 IA ou plus. L'intervalle IA1-IAF moyen a été de 31 ± 36 jours et l'IVV moyen a été de 390 ± 43 jours avec 11% des animaux avec un IVV supérieur à 450 jours (Annexe 5). Au final, 83% des vaches ont été gestantes à la fin de la période de reproduction. L'ensemble de ces éléments indiquent une fertilité et une fécondité très moyenne.

Tableau 10 : Comparaison des performances laitières des fermes expérimentales aux résultats du contrôle laitier (prim'holstein)

Indicateurs	Les Trinottières	Moyenne 2015	Orcival	Moyenne 2007
Production laitière (kg)	9488 ± 1523	9073	6098 ± 2042	8823
TB (g/kg)	40,1 ± 4,7	38,4	41,8 ± 5,0	39,8
TP (g/kg)	32,6 ± 1,9	31,2	32,3 ± 1,7	31,9
MG (kg)	308 ± 47	348	249 ± 70	351
MP (kg)	379 ± 71	283	196 ± 63	282
Durée de lactation (jour)	351 ± 69	348	337 ± 77	349

MG : matière grasse MP : matière protéique TB : taux butyreux TP : taux protéique
 Résultats non corrigés de la période étudiée

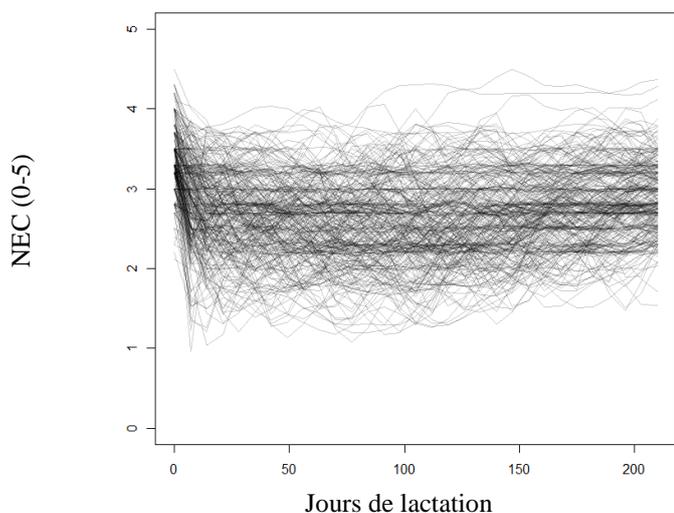


Figure 11 : Courbes de NEC de l'ensemble des lactations des Trinottières obtenues après réalisation d'une spline

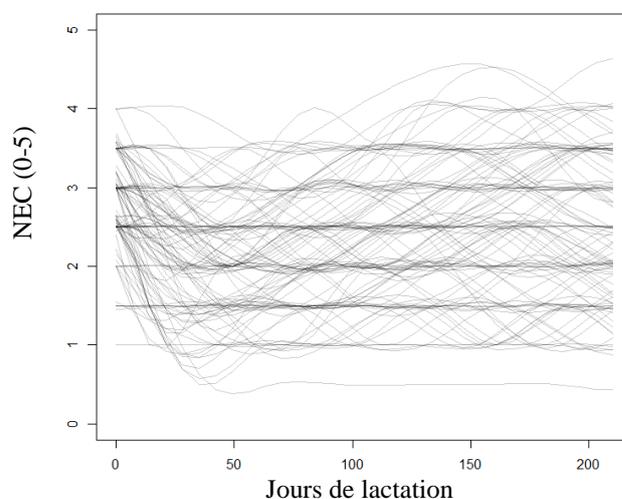


Figure 12 : Courbes de NEC de l'ensemble des lactations d'Orcival obtenues après réalisation d'une spline

Tableau 11 : Comparisons des notes d'état corporel (NEC) des fermes expérimentales au cours de la lactation

	Les Trinottières	Orcival
Nec Vêlage	3,34 ± 0,39	2,81 ± 0,60
Nec minimale	2,19 ± 0,52	1,81 ± 0,67
Jour de Nec Minimale	62 ± 45	62 ± 56
NEC 56 jours	2,61 ± 0,51	2,10 ± 0,71
Perte vêlage 56 J	-0,74 ± 0,48	-0,71 ± 0,61
Dynamique NEC 56J	-0,04 ± 0,28	0,06 ± 0,21
Perte d'état max	-1,17 ± 0,53	-1,02 ± 0,61
Nec 210 jours	2,89 ± 0,43	2,47 ± 0,91

3.2.1.2. Performances laitières

Les vaches ont produit en moyenne $9\,488 \pm 1523$ kg de lait par lactation (Tableau 10). Ces lactations ont duré en moyenne 351 ± 69 jours. Le lait a été assez riche avec un taux butyreux (TB) moyen de $40,1 \pm 4,7$ et un taux protéique moyen (TP) de $32,6 \pm 1,9$. Le lait a contenu 308 ± 47 kg de matière grasse (MG) et 379 ± 71 kg de matière protéique (MP) en moyenne pour 1 000 kg.

3.2.1.3. Notes d'état corporel

L'échantillon étudié étant important, une forte variabilité de courbes de NEC est visible (Figure 11). La majorité des NEC attribuées se sont situées entre 1 et 4. Les animaux ont eu une NEC au vêlage de $3,34 \pm 0,39$ en moyenne. Les vaches ont perdu rapidement de l'état ($-1,17 \pm 0,53$ points) jusqu'au pic de lactation pour arriver à une NEC de $2,19 \pm 0,52$ (Tableau 11 ; Annexe 6). Elles ont repris de l'état après 62 ± 45 jours PP jusqu'à atteindre une NEC de $2,89 \pm 0,43$ à 210 jours PP.

3.2.2. Orcival

3.2.2.1. Performances de reproduction

La ferme d'Orcival a réalisé ses premières IA autour de 50 jours PP. L'IV-IA1 moyen a été de 85 ± 27 jours (Tableau 9 ; Annexe 4). Le taux de réussite en première IA a été de 53%. De plus, 75 % des animaux ont été gestants après 3 IA mais 16% des vaches ont reçu 3 IA ou plus. Ainsi, il y a eu, en moyenne, $1,7 \pm 1,04$ IA par vache. L'intervalle IA1-IAF moyen a été de 13 ± 21 jours (Annexe 7) et l'IVV moyen a été de 376 ± 28 jours (Annexe 5). A l'inverse des Trinottières, très peu d'animaux ont eu un IVV supérieur à 400 jours. Au total, 76% des vaches ont été gestantes à la fin de la période de reproduction.

3.2.2.2. Performances laitières

Les animaux d'Orcival ont eu une production laitière moyenne de $6\,098 \pm 2042$ kg (Tableau 10) par lactation. Le lait produit a été riche avec un TB moyen de $41,8 \pm 5,0$ et un TP moyen de $32,3 \pm 1,7$. De même, la MG moyenne du lait a été de 249 ± 70 kg et la MP moyenne a été de 196 ± 63 kg par lactation. Ces lactations ont duré en moyenne 337 ± 77 jours.

3.2.2.3. Notes d'état corporel

La figure 12 met en évidence la variabilité des courbes de NEC présentes dans le jeu de données. Les animaux ont eu, en moyenne, une NEC au vêlage de $2,81 \pm 0,60$. En début de lactation, les vaches ont perdu beaucoup d'état ($-1,02 \pm 0,61$ point) pour atteindre une NEC de $1,81 \pm 0,67$ aux alentours de 62 ± 56 jours PP (Tableau 11 ; Annexe 6). Les animaux ont repris de l'état par la suite jusqu'à atteindre une NEC de $2,47 \pm 0,91$ jours PP.

3.2.3. Comparaison avec la moyenne nationale et entre les deux fermes

3.2.3.1. Performances de reproduction

L'objectif d'un veau par vache par an n'est, aujourd'hui, plus un objectif pour tous les éleveurs, notamment en élevage laitier. En effet, sur la campagne de reproduction 2015-2016, l'IVV médian des troupeaux laitiers a été de 426 jours (www.reproscope.fr) sur toute la France. L'IV-IA1 médian a été de 98 jours (www.reproscope.fr) traduisant soit une volonté des éleveurs de retarder la mise à la reproduction ou soit le fait qu'ils ne détectent pas les premières chaleurs des vaches. L'IA1-IAF médian a été de 42 jours (www.reproscope.fr) avec un TRIA1 médian de 46% (www.reproscope.fr) et un taux de réussite en IA1 ou 2 (TRIA1+2) médian de 71% (www.reproscope.fr). Globalement, il a été constaté que 70% des animaux réussissaient à se reproduire au bout de 2 IA. Le taux d'animaux ayant besoin de 3 IA ou plus pour réussir la reproduction doit être le plus faible possible. Pourtant, en moyenne, 24% des vaches d'un troupeau ont eu besoin de 3 IA ou plus (www.reproscope.fr).

En comparaison avec les performances de reproduction (campagne 2015-2016 ; www.reproscope.fr) de troupeaux laitiers en race prim'holstein, les animaux de la ferme des Trinottières se situent dans le premier quartile des performances nationales de fécondité (Tableau 9), tout comme les animaux d'Orcival. Toutefois, les animaux des Trinottières ont des performances de fertilité très dégradées par rapport aux animaux d'Orcival, se situant dans le premier quartile des performances nationales, et par rapport à la moyenne nationale en se situant souvent dans le dernier quartile.

3.2.3.2. Performances laitières

Les performances laitières nationales moyennes ont évolué entre 2007 et 2015. En effet, la production totale a augmenté de 250 kg ce qui a entraîné une légère baisse du TB (-1,4 g/kg) mais n'a pas impacté les autres indicateurs de qualité du lait.

En comparaison avec les résultats du contrôle laitier 2015, les vaches des Trinottières ont produit un lait plus riche (taux et matière utile) et en plus grande quantité (+400 kg) en moyenne. Cependant, la matière grasse moyenne est restée plus élevée (+40 kg) pour la moyenne nationale. Enfin, la durée des lactations a été un peu plus élevée aux Trinottières (Tableau 10).

La production moyenne et la matière utile totale des vaches du contrôle laitier ont été plus importantes (respectivement +2725 kg et +188 kg) que celles des vaches d'Orcival. Cela peut s'expliquer par la pratique de la mono traite en plus de la traite classique. Ainsi, moins de lait est produit sur la ferme. En revanche, les vaches de la ferme ont eu de meilleurs taux que celles du contrôle laitier avec 2 points de plus de TB et 0,4 points de plus de TP (Tableau 10) car il y a eu moins de dilution de ces éléments du fait de la moindre production de lait.

3.2.3.3. Notes d'état corporel

La perte d'état au moment du vêlage est assez importante pour les deux fermes expérimentales. Cela représente une perte de $1,17 \pm 0,53$ point pour les Trinottières et de $1,02 \pm 0,61$ point pour Orcival. Pour un profil moyen de NEC de vache laitières de race prim'holstein, cette perte s'élève à 1 point de NEC (UNCEIA, 2010). Les animaux des fermes expérimentales ont donc semblé avoir une perte d'état similaire, en moyenne, qu'une vache standard. Toutefois, la NEC au vêlage d'une vache standard se situe à 3,5 point de NEC. Les animaux des fermes expérimentales ont des NEC inférieures de 0,16 point pour les Trinottières et 0,69 point pour Orcival. La NEC minimale est obtenue entre 40 et 60 jour PP en moyenne pour un animal standard. Au niveau des fermes expérimentales, cette valeur est atteinte à 62 jours PP ce qui correspond à la moyenne nationale. Ensuite, les animaux reprennent progressivement de l'état. Sur un profil de prim'holstein standard, autour de 210 jours PP, la vache a une NEC autour de 3 (reprise de 0,5 point de NEC). En moyenne, les vaches des Trinottières ont repris 0,6 points de NEC et les animaux d'Orcival 0,66 points à 210 jours PP.

Ainsi, dans les deux fermes les vaches ont perdu de l'état en début de lactation (≈ 50 jours) puis en ont repris mais les vaches d'Orcival ont eu (avec en moyenne -0,45 points) des notes plus faibles tout au long de la lactation que les animaux des Trinottières. Les vaches des fermes expérimentales ont eu une évolution de profil de NEC assez similaire à un profil standard mais avec des valeurs diminuées de 0,15 point environ pour les Trinottières et de 0,7 points pour Orcival. Toutefois, les animaux ont eu une reprise d'état un peu plus importante entre 60 et 210 jours PP.

En conclusion, bien que les systèmes aient des conduites alimentaires et de reproduction similaires les résultats en découlant sont différents.

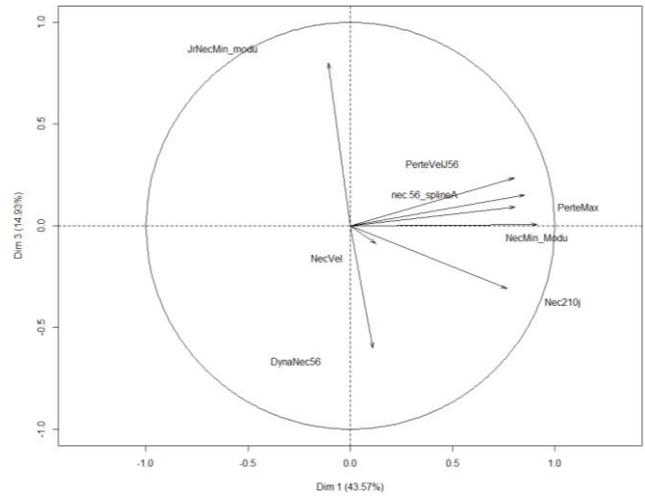
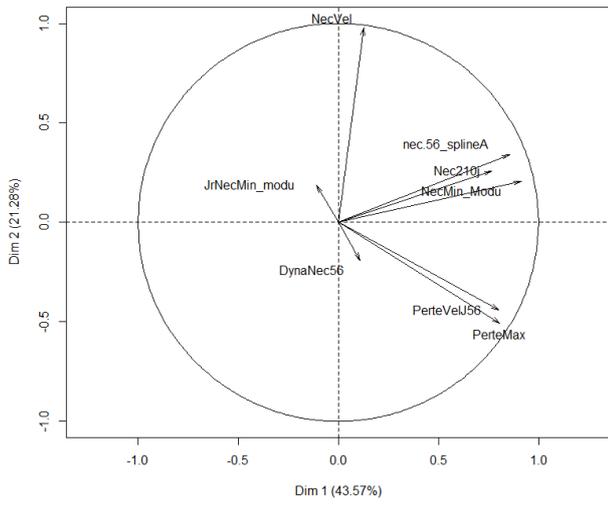


Figure 13 : Contribution des variables aux axes (Trinottières)

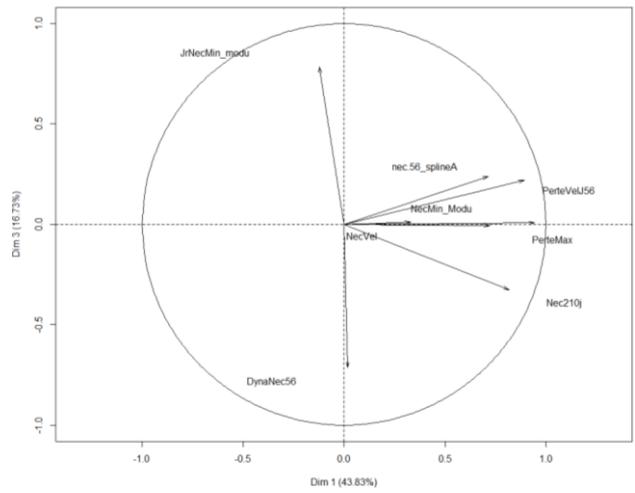
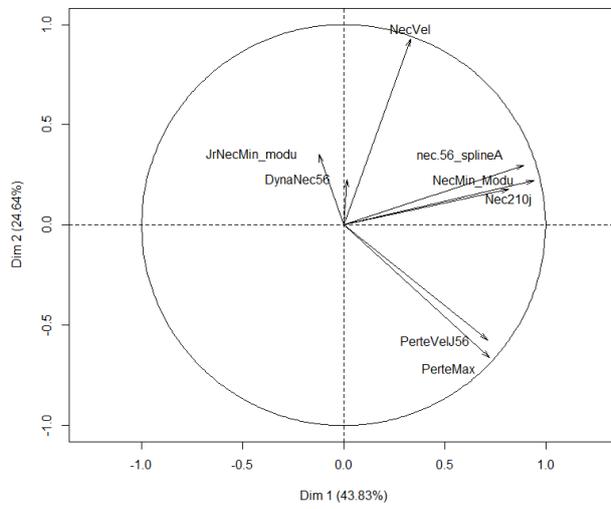


Figure 14 : Contribution des variables aux axes (Orcival)

3.3. Choix des méthodes statistiques

3.3.1. Les variables composant l'ACP

A partir de la littérature, certaines variables nous ont semblé importantes, car elles apparaissent comme facteurs de réussite à la reproduction. Le choix de 210 jours de lactation s'est fait car, une partie des animaux de la base de données n'avaient plus d'informations de NEC après ce palier. En effet, les essais se sont terminés, en moyenne, autour de 210 jours PP et les NEC n'ont plus été effectuées après ce moment. Ainsi, nous avons pris la variable « NEC à 210 jours ». Comme indiqué dans la sélection des lactation/vache, la « NEC au vêlage » étaient indispensable. La « perte d'état maximale » et la « NEC minimale » (dans les 210 premiers jours de lactation) ont également été sélectionnées. Afin de caractériser la pente de perte d'état de début de lactation (≈ 50 jours), nous avons intégré la variable « jour de la NEC minimale ».

Dans l'optique ne pas avoir d'*a priori* lors de la construction des profils, aucune variable en lien avec la reproduction n'a été retenue. En effet, si une variable liée à la reproduction avait été sélectionnée, alors, les profils auraient pu être influencés par la conduite de la reproduction et non plus par la NEC. Toutefois, la « NEC à 56 jours » a été choisie dans la construction des profils car, théoriquement, la plupart des animaux sont redevenus cyclés et les éleveurs commencent à les observer pour la mise à la reproduction à cette période. Enfin, nous nous sommes basés sur la « perte d'état entre le vêlage et 56 jours » ainsi que sur la « dynamique de la NEC à 56 jours ». Cette dernière variable permet de savoir si la vache était en perte d'état, en prise d'état ou stable.

Alors, à partir de l'ensemble des variables disponibles pour l'ACP, nous avons définis les variables les plus adaptés pour répondre à nos questions :

- la NEC au moment du vêlage,
- la NEC à 56 jours,
- sa dynamique (valeur de la semaine suivante - valeur de la semaine précédente),
- la variation de NEC entre le vêlage et 56 jours,
- la NEC minimale (entre 0 et 210 jours),
- le jour de la NEC minimale,
- la perte de NEC maximale (entre 0 et 210 jours),
- la NEC à 210 jours.

Toutefois, l'ensemble des variables qui composent l'ACP ont été significatives pour expliquer les différences entre les profils (Annexe 8 et 9). La projection des variables sur le cercle de corrélations est assez semblable sur les deux jeux de données. En effet, les figures 13 et 14 indiquent que les pertes d'état et les NEC minimale, à 56 et 210 jours contribuent en grande partie à la dimension 1. Les points NEC à 56, 210 jours et la NEC minimale sont très proches car ces variables sont très corrélées. De même, ces points sont proches du cercle de corrélations ce qui signifie que les trois variables sont très bien représentées. En outre, les variables perte vêlage-56 jours et perte maximale sont corrélées positivement et assez bien représentées. Ainsi, l'axe 1 discrimine les animaux en fonction de leur état tout au long de la lactation (NEC élevées à droite et NEC faibles à gauche). La variable NEC au vêlage contribue très fortement à expliquer la dimension 2. Cette variable est très bien représentée sur l'axe 2. Ainsi, cet axe discrimine les animaux en fonction de leur NEC au vêlage (fortes en haut, faibles en bas). Enfin, les variables jour de la NEC minimale et dynamique de la NEC à 56 jours contribuent à la dimension 3. Ces deux variables sont corrélées négativement et sont assez bien représentées sur cet axe. Il ne semble pas exister de corrélation entre la NEC au vêlage et les pertes d'état.

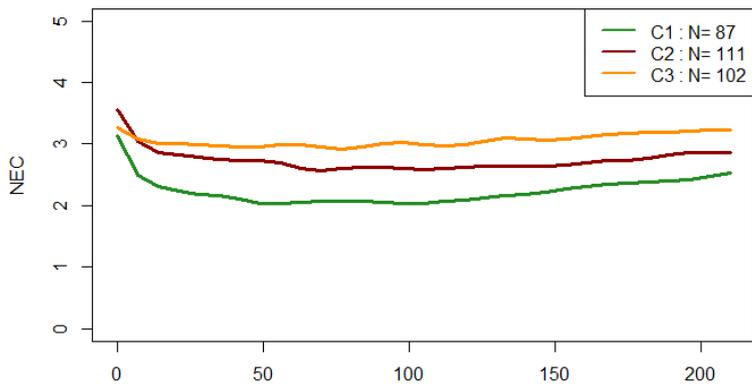


Figure 16 : Profils moyens de l'évolution de l'état corporel des groupes des Trinottières obtenus après classification

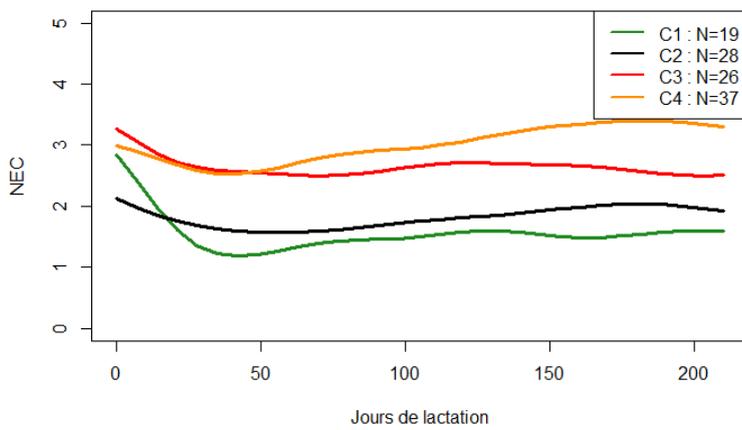


Figure 15 : Profils moyens de l'évolution de l'état corporel des groupes d'Orcival obtenus après classification

3.3.2. Sélection du nombre de dimension et de profils

A partir du graphique d'évolution des valeurs propres (Annexe 10), obtenu lors de l'ACP pour la ferme des Trinottières, il a été décidé de prendre 4 dimensions. Ces 4 dimensions expliquaient 90% de la variabilité du jeu de données. Avec la classification, 3 clusters ont été détectés automatiquement à partir des 4 dimensions de l'ACP.

Concernant la ferme d'Orcival, en se basant sur le graphique d'évolution des valeurs propres (Annexe 11), il a été décidé de prendre, aussi, 4 dimensions. Les 4 premiers axes expliquaient 94% de la variabilité du jeu de données. Avec la classification, 4 clusters ont été détectés automatiquement à partir des 4 dimensions précédemment choisies. Le choix de 4 axes pour les deux fermes a permis d'expliquer une très grande variabilité du jeu de données et, ainsi, permis une classification discriminante.

3.4. Des profils d'évolution de notes d'état corporel différents...

3.4.1. ... En fonction de la NEC au cours de la lactation

Les profils moyens d'évolution de l'état corporel des groupes des Trinottières (Figure 15) montrent 3 types d'animaux. Il y a deux classes avec des profils assez similaires en début de lactation (≈ 50 jours), avec un écart de presque 0,5 points au vêlage ($C1 = 3,15 \pm 0,04$ et $C2 = 3,56 \pm 0,03$). En effet, ces groupes se composent de vaches qui perdent de l'état en début de lactation ($C1 = -1,53 \pm 0,04$ points ; $C2 = -1,38 \pm 0,03$) mais certaines en reprennent par la suite ($C1 ; +0,9$ points de NEC) et les autres ne reprennent que modérément de l'état ($C2 ; +0,6$ de NEC) et moins rapidement. A 210 jours de lactation les animaux du profil C1 restent plus maigres que ceux du profil C2 avec une NEC de $2,54 \pm 0,04$ contre $2,85 \pm 0,03$. Le dernier groupe est composé des vaches qui ont une NEC au vêlage de $3,27 \pm 0,03$ points et qui ne perdent pas ou peu d'état ($-0,62 \pm 0,04$) au cours de la lactation (C3).

Au niveau des profils d'Orcival (Figure 16), le premier profil (C1), correspond à des vaches qui perdent beaucoup d'état ($-1,93 \pm 0,09$ point) en début de lactation (≈ 50 jours) et n'en reprennent pas, ou peu, par la suite. En effet, ces vaches ont une NEC au vêlage de $2,85 \pm 0,10$ puis de $1,26 \pm 0,10$ à 56 jours PP et de $1,59 \pm 0,14$ à 210 jours de lactation. Nous pouvons observer que deux profils évoluent de manière parallèle. Le premier a une NEC au vêlage de $2,99 \pm 0,07$ (C4) et le second a une NEC au vêlage de $2,13 \pm 0,08$ (C2). Cependant, le premier profil se distingue par une reprise d'état assez forte à partir de 50 jours de lactation passant d'une NEC à 56 jours PP de $2,62 \pm 0,07$ à une NEC de $3,30 \pm 0,10$ à 210 jours PP (+0,7 points). Le second profil (C2) ne semble en reprendre que légèrement (+ 0,36 points) passant d'une NEC à 56 jours PP de $1,57 \pm 0,08$ à une NEC à 210 jours PP de $1,93 \pm 0,12$. Le dernier profil est composé d'animaux avec une NEC au vêlage de $3,27 \pm 0,08$. Ce profil se distingue des autres par une perte d'état jusqu'à 110 ± 9 jours de lactation (C3).

Après classification, les performances de reproduction des animaux ont été confrontées. Le but étant de déterminer si l'appartenance à un profil d'état corporel a permis de discriminer les vaches laitières sur leurs performances de reproduction.

Tableau 12 : Description générale des profils des Trinottières (110 G = ration riche ; 95 G = ration standard ; RC = ration complexe ; RS = ration simple ; NA = pas d'informations)

	C1					C2					C3				
	110G	95G	RC	RS	NA	110G	95G	RC	RS	NA	110G	95G	RC	RS	NA
Alimentation	16	24	17	14	16	19	24	32	28	8	39	28	6	13	16
	Primi		Multi			Primi		Multi			Primi		Multi		
Parité	16		71			66		45			52		50		
	1	2	3+			1	2	3+			1	2	3+		
Rang de lactation	16	37	34			66	21	24			52	32	18		
	Oui		Non			Oui		Non			Oui		Non		
Problème au vêlage	3		84			1		110			0		102		

Tableau 13 : Performances de production laitière des groupes des Trinottières

	Troupeau	C1	C2	C3	RSE	P-value	
PL totale (44 semaines-kg)	9488 ± 1523	9931 a ± 161	9340 b ± 142	9271 b ± 149	1501	0,005	**
PL max (kg)	37,3 ± 7	39,6 a ± 0,7	36,5 b ± 0,6	36,1 b ± 0,6	6,46	<0,001	***
Durée de lactation (jours)	351 ± 69	358 ± 7	355 ± 7	339 ± 7	68,70	0,11	NS
TB moyen (44 semaines-g/kg)	40,1 ± 4,7	39,7 ± 0,5	40,1 ± 0,5	40,3 ± 0,5	4,74	0,70	NS
TP moyen (44 semaines-g/kg)	32,6 ± 1,9	32,1 a ± 0,2	32,6 ab ± 0,2	33,0 b ± 0,2	1,86	0,002	**
MG totale (44 semaines-kg)	308 ± 47	318 ± 5	303 ± 4	305 ± 5	46,18	0,050	*
MP totale (44 semaines-kg)	379 ± 71	395 ± 8	373 ± 7	372 ± 7	70,64	0,04	*
MU totale (44 semaines-kg)	680 ± 114	714 ± 12	676 ± 11	678 ± 11	112,90	0,04	*

*** P<0,001: Hautement significatif ** 0,001<P<0,01: Très significatif *0,01<P<0,05: Significatif + 0,05<P<0,1: Tendance NS: Non significatif

Tableau 14 : Description générale des profils d'Orcival (1T = mono traite ; 2T = deux traites par jour)

	C1			C2			C3			C4			
	1T	2T		1T	2T		1T	2T		1T	2T		
Traitement	5	14		11	17		14	12		30	7		
	Primi			Primi			Primi			Primi			
Parité	5	14		11	17		13	13		22	15		
	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	1	2	3+	
Rang de lactation	5	9	5	11	12	5	13	5	8	22	9	6	
	Oui		Non			Oui		Non			Oui		Non
Problème au vêlage	2		17	3		25	2		24	4		33	

Tableau 15 : Performances de production laitière des groupes d'Orcival

	Troupeau	C1	C2	C3	C4	RSE	P-value	
PL totale (44 semaines-kg)	6098 ± 2042	7362 a ± 420	6748 a ± 346	6238 a ± 359	4859 b ± 301	1830	<0,001	***
PL max (kg)	28 ± 9	33,1 a ± 1,85	30,2 a ± 1,52	29,3 a ± 1,58	22,9 b ± 1,32	8,05	<0,001	***
Durée de lactation (jours)	337 ± 77	386 a ± 17	338 ab ± 14	324 b ± 15	321 b ± 12	74,45	0,02	*
TB moyen (44 semaines-g/kg)	41,8 ± 5,0	40,2 ± 1,13	42,9 ± 0,93	40,8 ± 0,96	42,5 ± 0,81	4,91	0,15	NS
TP moyen (44 semaines-g/kg)	32,3 ± 1,7	31,5 a ± 0,38	32,7 ab ± 0,31	31,7 a ± 0,33	32,9 b ± 0,27	1,66	0,004	**
MG totale (44 semaines-kg)	249 ± 70	291 a ± 14	281 a ± 12	248 a ± 12	202 b ± 10	60,76	<0,001	***
MP totale (44 semaines-kg)	196 ± 63	231 a ± 13	220 a ± 11	197 a ± 11	158 b ± 9	56,54	<0,001	***
MU totale (44 semaines-kg)	444 ± 131	522 a ± 27	500 a ± 22	445 a ± 23	361 b ± 19	115,40	<0,001	***

*** P<0,001: Hautement significatif ** 0,001<P<0,01: Très significatif *0,01<P<0,05: Significatif + 0,05<P<0,1: Tendance NS: Non significatif

3.4.2. ... Caractériser par des animaux différents

Trinottières

Les caractéristiques principales des animaux des Trinottières, en fonction de leur profil d'état corporel, sont présentées dans le tableau 12. Globalement, l'alimentation n'a pas eu d'effet dans la construction des profils. En effet, aucune ration n'est sortie majoritaire d'un des profils. En revanche, le profil C1 a montré une forte proportion de vaches multipares (87% contre 41% pour le C2 et 49% pour le C3). De même, ce profil est composé des vaches produisant significativement plus de lait (+591 kg que C2 et +660 kg que C3 ; $p < 0,005$) et ayant un pic de lactation significativement ($p < 0,001$) plus élevé (+3,1 kg et +3,5 kg que C2 et C3 ; Tableau 13) que les animaux des autres profils. Le profil C3 est constitué des animaux avec la durée de lactation tendant à être la plus courte des trois profils (339 ± 7 jours ; $p = 0,11$). En outre, ce groupe a eu un TP significativement plus élevé ($33,0 \pm 0,2$ g/kg) que celui du profil C1 ($32,1 \pm 0,2$ g/kg ; $p < 0,005$). Enfin, bien que la dynamique des réserves corporelles ait eu un effet sur la matière utile (grasse et protéique) du lait, aucune différence significative n'a été visible entre les différents groupes.

Orcival

Le tableau 14 présente les caractéristiques globales de chaque profil à Orcival. Le profil C1 a eu la particularité d'être principalement composé de vaches multipares (74%) en double traite (74%) alors que le profil C4, lui, s'est distingué avec 81% des animaux en mono traite. Le profil C4 a été le groupe qui a produit le moins (4859 ± 301 kg) et a eu le pic de lactation le plus faible ($22,9 \pm 1,32$ kg), du fait de la pratique de la mono traite surreprésenté dans le groupe (Tableau 15), par rapport aux autres profils ($p < 0,001$). Les animaux des profils C3 et C4 ont eu une durée de lactation inférieure (respectivement 324 ± 15 jours et 321 ± 12 jours) à celle des animaux du profil C1 (386 ± 17 jours ; $p = 0,02$). Enfin, les animaux du profil C4 ont eu un taux protéique plus élevé ($32,9 \pm 0,27$ g/kg ; $p < 0,01$) que les profils C1 et C2 (respectivement $31,5 \pm 0,38$ g/kg et $32,7 \pm 0,31$ g/kg) et produisaient moins de matière utile que les autres profils ($p < 0,001$).

Quel que soit la ferme, les profils avec les NEC les plus faibles sont composés majoritairement de multipares qui ont produit beaucoup de lait.

3.5. ...N'expliquant que peu les performances de reproduction

Les Trinottières

Le tableau 16 met en évidence les résultats de réussite à la reproduction, des animaux des Trinottières, en fonction du profil de NEC auquel ils appartiennent. Les vaches maigres (C1) ont eu tendance à recevoir moins d'IA que les autres ($p = 0,07$). La réussite en première IA a été variable d'un profil à un autre. Le profil C2 a eu la particularité d'avoir 9 à 12 points de moins que les autres profils mais sans qu'il existe de différence significative. Ce retard s'est confirmé en IA2 et IA3, là encore sans que cela soit significatif. Le taux de réussite après 3 IA a été de 71% pour les vaches les plus maigres (C1), 62% pour les vaches qui n'ont pas repris d'état (C2) et 74% pour les vaches qui sont restées stables (C3). Toutefois, le pourcentage de vaches nécessitant plus de trois IA a été plus élevé pour le profil C2 ($p = 0,04$). A la fin de la période de reproduction, les vaches gestantes du profil stable (C3) ont eu un taux significativement meilleur de 13 points que les autres profils (C1=78%, C2= 78 % et C3= 91% ; $p = 0,02$). Le taux de revêlage a été meilleur pour les animaux du profil C3 ($p = 0,01$) que pour ceux des autres profils. De même, les animaux du profil C3 ont eu tendance à avoir un taux de revêlage à 90 jours meilleur que les autres animaux ($p = 0,10$).

Tableau 16 : Résultats de fertilité des groupes des Trinottières en lien avec l'état corporel

	Effectif	Troupeau	C1	C2	C3	RSE	P-value	
Nb d'IA/vache	300	2,31 ± 1,42	2,03 ± 0,15	2,50 ± 0,13	2,35 ± 0,14	1,41	0,07	+
Nb IA/Gestation	248	2,18 ± 1,33	1,90 ± 0,16	2,36 ± 0,14	2,23 ± 0,14	1,32	0,09	+
Gestante à l'IA1 (%)	300	33,7	39	27	36		0,16	NS
NEC IA1	299	2,6 ± 0,52	2,11 a ± 0,04	2,62 b ± 0,04	2,99 c ± 0,04	0,38	<0,001	***
Dynamic NEC IA1	299	0,03 ± 0,32	0,03 ± 0,03	0,03 ± 0,03	0,04 ± 0,03	0,32	0,95	NS
Gestante à l'IA2 (%)	199	33,2	30	30	40		0,36	NS
NEC IA2	186	2,64 ± 0,50	2,16 a ± 0,06	2,63 b ± 0,05	2,97 c ± 0,05	0,40	<0,001	***
Dynamic NEC IA2	186	0,02 ± 0,32	0,09 ± 0,05	0,01 ± 0,04	-0,02 ± 0,04	0,32	0,20	NS
Gestante après 1 ou 2 IA (%)	300	55,7	57	49	63		0,14	NS
Gestante à l'IA3 (%)	133	29,3	32	26	31		0,79	NS
NEC IA3	110	2,72 ± 0,52	2,24 a ± 0,08	2,66 b ± 0,06	3,12 c ± 0,07	0,41	<0,001	***
Dynamic NEC IA3	110	0,01 ± 0,31	0,04 ± 0,06	-0,02 ± 0,04	0,03 ± 0,05	0,31	0,75	NS
Gestante après 1,2 ou 3 IA (%)	300	68,7	71	62	74		0,17	NS
Vache avec 3 IA et + (%)	300	37	29	44	35		0,04	*
Gestante (%)	300	82,7	78	78	91		0,02	*
Revêlage (%)	300	75,3	78	77	91		0,01	**
Revêlage 90jrs (%)	300	27	25	22	34		0,10	+

*** P<0,001: Hautement significatif ** 0,001<P<0,01: Très significatif *0,01<P<0,05: Significatif + 0,05<P<0,1: Tendance NS: Non significatif

Tableau 17 : Résultats de fertilité des groupes d'Orcival en lien avec l'état corporel

	Effectif	Troupeau	C1	C2	C3	C4	RSE	P-value	
Nb d'IA/vache	110	1,68 ± 1,04	1,63 ± 0,24	1,89 ± 0,20	1,38 ± 0,20	1,76 ± 0,17	1,04	0,32	NS
Nb IA/Gestation	84	1,42 ± 0,71	1,17 ± 0,20	1,64 ± 0,15	1,17 ± 0,17	1,5 ± 0,12	0,70	0,10	+
Gestante à l'IA1 (%)	110	52,7	53	46	58	54		0,86	NS
NEC IA1	110	2,28 ± 0,75	1,47 a ± 0,1	1,71 a ± 0,1	2,66 b ± 0,1	2,88 b ± 0,1	0,46	<0,001	***
Dynamic NEC IA1	110	0,05 ± 0,19	0,06 ± 0,04	0,01 ± 0,04	0,02 ± 0,04	0,11 ± 0,03	0,18	0,12	NS
Gestante à l'IA2 (%)	50	36,5	22	33	27	53		0,36	NS
NEC IA2	46	2,32 ± 0,83	1,32 a ± 0,1	1,79 a ± 0,1	2,94 b ± 0,2	3,00 b ± 0,1	0,43	<0,001	***
Dynamic NEC IA2	46	0,06 ± 0,16	0,01 ± 0,05	0,05 ± 0,04	0,07 ± 0,06	0,1 ± 0,04	0,16	0,57	NS
Gestante après 1 ou 2 IA (%)	110	70	63	64	69	78		0,55	NS
Gestante à l'IA3 (%)	31	15,2	0	30	0	25		0,17	NS
NEC IA3	18	2,58 ± 0,77	1,68 a ± 0,4	2,11 a ± 0,2	2,79 ab ± 0,4	3,25 b ± 0,2	0,52	0,003	**
Dynamic NEC IA3	18	0,10 ± 0,23	-0,20 ± 0,15	0,05 ± 0,08	-0,14 ± 0,15	0,16 ± 0,08	0,21	0,16	NS
Gestante après 1,2 ou 3 IA (%)	110	74,6	63	75	69	84		0,34	NS
Vache avec 3 IA et + (%)	110	16	11	25	8	19		0,54	NS
Gestante (%)	110	76,4	63	79	69	86		0,18	NS
Revêlage (%)	110	76,4	63	79	69	86		0,18	NS
Revêlage 90jrs (%)	110	28,2	16	11	42	38		0,02	*

*** P<0,001: Hautement significatif ** 0,001<P<0,01: Très significatif *0,01<P<0,05: Significatif + 0,05<P<0,1: Tendance NS: Non significatif

Dans l'annexe 12, nous visualisons que le délai entre le vêlage et l'IA possible a été moins long de 4 jours pour les vaches les plus maigres (C1) sans que cela soit significatif. Cependant, les vaches qui ont perdu de l'état (C1) ont été mises tard à la reproduction (IV-IA1 ; $p < 0,001$) par rapport à celles n'en perdant pas (C3) (respectivement 89 ± 3 jours et 79 ± 3 jours). Les vaches du profil C3 n'ont perdu, en moyenne, que 0,28 points d'état entre ces deux événements contre 1,04 point pour les animaux du profil C1 et 0,94 points pour ceux du profil C2 ($p < 0,001$).

Orcival

Les vaches perdant peu d'état (C2 et C4) ont reçu, en moyenne, plus d'IA que les autres groupes sans qu'il n'y ait de différence significative entre les groupes (Tableau 17). De plus, les vaches maigres ne perdant pas d'état (C2) ont eu un taux de réussite en première IA plus faible de 7 à 12 points que les autres groupes mais cette différence n'est pas significative. En ce qui concerne le taux de réussite après deux IA, les vaches plus grasses ne perdant pas d'état (C4) ont mieux réussi la reproduction que les autres groupes (78% de réussite contre 63 à 69%), sans que cela soit significatif. Cet écart été présent après 3 IA. Le profil avec le pourcentage le plus élevé de vaches avec trois IA a été celui des vaches maigres ne perdant pas d'état (C2) mais cela n'est pas significatif. A la fin de la période de reproduction, ce sont les animaux qui n'ont pas perdu d'état (C2 et C4) qui ont réussi à avoir le meilleur taux de gestation. Cependant, cette différence n'a pas été significative. Les animaux les plus gras (C3 et C4) ont été gestants le plus rapidement comme l'indique le taux de revêlage à 90 jours ($p = 0,02$). Enfin, si les animaux ne réussissaient pas à être gestants en première IA alors la chance de réussir aux IA suivantes a eu tendance à être très faible (1,17 IA pour avoir une gestation ; $p = 0,1$).

Dans l'annexe 13, nous constatons que les vaches grasses qui ont perdu de l'état (C3) ont vêlé plus tard que les autres car elles ont pu recevoir une IA dès 58 jours PP contre 63 à 68 jours pour les autres animaux. Toutefois, cette différence n'est pas significative. En outre, les vaches les plus maigres (C1) ont été mises le plus tard à la reproduction, sans différence significative. Les intervalles IA1-IAF les plus courts ont été ceux des animaux perdant de l'état après le vêlage (C1 et C3 respectivement 7 ± 6 et 6 ± 5 jours), sans que cela ne soit significatif.

Il semblerait, donc, que les vaches qui n'ont pas perdu, ou très peu, d'état au cours de la lactation ont eu plus de chance de réussir la reproduction. De plus, si ces animaux ont eu une NEC élevée au moment du vêlage (autour de 3), ils ont réussi à se reproduire plus vite que les autres (observé avec l'indicateur « revel 90 jours »). Enfin, l'appartenance à un profil n'a pas induit de différence significative sur les variations de NEC au moment de l'IA. Beaucoup de résultats se contredisent entre les deux fermes. La recherche d'explications de ces différences est développée dans la partie suivante.

4. Discussion

Les résultats de l'étude ont montré que les profils de NEC peuvent expliquer certaines performances de reproduction. En outre, les profils de NEC ont eu un effet sur le taux de revêlage à 90 jours PP et ont semblé avoir un effet sur le nombre d'IA reçues pour obtenir une gestation. Plus la vache a eu une NEC faible au vêlage et plus le nombre d'IA reçues a été faible. D'autres performances de reproduction sont ressorties différentes, en fonction des profils de NEC, mais ces résultats ont varié d'une ferme à l'autre. Nous allons donc analyser ces résultats et déterminer pourquoi les effets de la NEC ont varié d'une ferme à l'autre.

4.1. Performances de fécondité

Beaucoup d'indicateurs de fécondité ont eu des écarts importants en fonction du profil de NEC, mais ces différences n'ont pas été significatives.

Aux Trinottières, l'intervalle IA possible - IA1 a été le plus long pour le groupe C1 (respectivement +9 jours et +14 jours par rapport à C2 et C3) dont la NEC minimale a été la plus faible, 1,62 point (respectivement 0,57 et 1,07). Cet allongement de l'intervalle peut s'expliquer par une moindre expression des chaleurs par les vaches comme le constatent Madureira *et al* (2015) qui indiquent que les vaches expriment moins leurs chaleurs quand elles ont une NEC inférieure à 2. De plus, cet indicateur a pu être influencé par le délai entre le vêlage et l'IA possible. En effet, si une vache vêle tôt dans la saison, elle peut avoir une IA possible après un délai plus important. Alors, elle a plus de chance d'être cyclée et l'intervalle IA possible - IA1 sera réduit. Dans l'étude, il n'y a pas eu de différence entre les intervalles IV - IA possible ce qui élimine cette hypothèse.

De même, l'IV-IA1 des animaux du profil C3 (79 ± 3 jours) a été significativement plus faible que celui du profil C1 (89 ± 3 jours). Cette différence peut s'expliquer par la perte d'état au vêlage du profil C3 (-0,62 points) qui a été assez faible comparativement à celle du profil C1 (-1,53). En effet, Ponsart *et al* (2006b) expliquent qu'une forte perte d'état dégrade cet indicateur. A Orcival, l'IV-IA1 a été de 96 ± 6 jours pour les vaches du profil C1 avec une perte d'état de 1,93 point. Pour les autres profils, l'intervalle s'est situé entre 80 et 85 jours. Cette différence n'a pas été significative.

Toutefois, une forte perte d'état est aussi associée à une dégradation de l'IV-IAF (Lopez *et al*, 2004 ; Westwood *et al*, 2002). Pourtant, dans l'étude cet intervalle n'a pas été dégradé par une forte perte d'état. En effet, aux Trinottières, les animaux du profil C1 (perdant 1,53 points de NEC) n'ont pas eu un IV-IAF très rallongé (+ 3 jours) et les vaches du profil C2 (perdant 1,38 points de NEC) ont vu leur IV-IAF rallongé de 10 jours par rapport à celles du profil C3 (108 ± 4 jours), sans que cette différence n'ait été significative. De même, à Orcival les profils C1 et C3, dont les animaux ont perdu respectivement $1,93 \pm 0,09$ et $1,19 \pm 0,08$ point de NEC, sont les profils dont les vaches ont eu l'IV-IAF le plus faible mais cela n'a pas été significatif. De plus, le profil C3 a eu les animaux avec l'IV-IAF le plus court (86 ± 7 jours) mais cette différence n'a pas été significative.

La production laitière peut, aussi, permettre d'éclaircir certains résultats. En effet, les vaches avec un pic de lactation élevé ont, généralement, un IV-IA1 plus important (Dubois *et al*, 2006) et les vaches avec une forte production laitière ont une moindre expression du comportement œstral (Cutullic *et al*, 2012). Cela se confirme sur la ferme des Trinottières où le profil C1 a eu un pic significativement plus élevé que les autres ($39,6 \pm 0,7$ kg) et une production laitière significativement plus importante (9931 ± 161 kg) avec un IV-IA1 significativement plus élevé que le profil C3. De même, à Orcival, le profil C1 a eu un pic de lactation un peu plus élevé ($33,1 \pm 1,85$ kg) et une production laitière plus élevée (7362 ± 420 kg) que les autres profils (pas significativement différent des profils C2 et C3) avec un IV-IA1 plus long que les autres, mais sans différence significative.

Tableau 18 : Influence du potentiel génétique de production laitière sur les performances de reproduction des vaches prim'holstein (Disenhaus et al, 2005)

Auteurs	Buckley et al, 2000		Kennedy et al, 2003		Horan et al, 2004	
Potentiel génétique laitier	Haut	Moyen	Haut	Moyen	Haut	Moyen
Effectifs	132	132	81	81	60	51
Lait total (kg)	7779	6862	7863	6766	6986	6648
TRIA1 (%)	-	-	46	54	47	56
TRIA1+2 (%)	63	75	69	75	69	77
Taux de gestation (%)	80	94	81	89	79	85

TRIA1 : taux de réussite en première insémination **TRIA1+2** : taux de réussite en première ou deuxième insémination

Les performances de certaines vaches ont entraîné beaucoup de variabilité au sein du jeu de données et peuvent expliquer que les écarts observés entre les profils n'aient pas été significatifs. En effet, dans les deux fermes, il y a eu 2% des vaches qui n'ont été inséminées, pour la première fois (IV-IA1), qu'après 150 jours. Ces écarts peuvent être dû aux aptitudes de l'éleveur (détection des chaleurs, IA aux mauvais moments ; Ponsart *et al*, 2007 ; Freret *et al*, 2005) ou aux aptitudes physiologiques des vaches (cyclicité, expression des chaleurs). Des études plus poussées sur la détection des chaleurs et l'analyse de la progestérone pourraient permettre de déterminer si les animaux n'ont pas été cyclés tôt ou si l'expression de leurs chaleurs a été peu marquée limitant, alors, la détection. Toutefois, lors des allotements liés aux essais réalisés sur les fermes, il est possible que certains animaux n'aient pas été mis à la reproduction ou n'aient plus été destinés à la reproduction. De plus, aux Trinottières, 5% des vaches ont mis plus de 100 jours pour réussir la reproduction (IA1-IAF). Cela peut s'expliquer par des œstrus de mauvaise qualité qui peuvent induire une faible expression des chaleurs ne permettant pas aux animaliers de détecter le moment où réaliser une nouvelle IA. De plus, un IA1-IAF long peut aussi s'expliquer par une mauvaise qualité de l'ovocyte le rendant peu ou pas viable. Enfin, s'il y a une mauvaise implantation de l'ovocyte, alors l'IA1-IAF peut aussi être allongé.

Ainsi, les résultats de fécondité peuvent être influencés par la NEC, la production laitière mais aussi la variabilité du jeu de données. Il pourrait être intéressant de corriger les résultats des effets de ces facteurs afin d'obtenir moins de variabilité dans le jeu de données (création de classe d'IV-IA1, par exemple).

4.2. Performances de fertilité

Aux Trinottières, les animaux du profil C2 ont eu un taux de réussite à l'IA1, 2 et 3 moins bon (27%, 49% et 62%) que les autres profils (C1 = 39%, 57%, 71% et C3 = 36%, 63%, 74% ; sans que cela ne soit significatif). Cela peut s'expliquer par la NEC minimale de $2,19 \pm 0,03$ atteinte à 84 ± 4 jours ce qui correspond au moment de la réalisation de la première IA (84 ± 2 jours). De même, les vaches du profil C3 à Orcival ont eu une NEC minimale de $2,10 \pm 0,07$ atteinte à 110 ± 9 jours ce qui se situe aussi au moment de la réalisation des IA. Les vaches du profil C1 et C3 d'Orcival ont eu un taux de réussite en IA 2 et 3 très mauvais (respectivement TRIA2 : 22 et 27 % TRIA3 = 0 %) comparativement aux animaux des profils C2 et C4 (respectivement TRIA2 : 33 et 53 % et TRIA3 : 30 et 25 %) sans que cela n'ait été significatif.

Le taux de gestation final a été de 78 % pour les animaux du profil C1 et C2 des Trinottières (significativement différent du profil C3) avec respectivement une NEC minimale de $1,62 \pm 0,03$ et de $2,19 \pm 0,03$. Les groupes C1 et C2 ont perdu respectivement $1,53 \pm 0,04$ et $1,38 \pm 0,03$ points contre $0,62 \pm 0,04$ pour le groupe C3. La différence du taux de gestation peut être dû à une moins bonne expression des chaleurs qui entraîne une dégradation du taux de gestation (López-Gatius *et al*, 2003). En effet, les animaux avec une NEC inférieure à 2 ont une moins bonne expression des chaleurs (Ponsart *et al*, 2006a). Il faut noter qu'une forte perte d'état PP induit plus de MEP (Cutullic *et al*, 2012) et cette MEP peut dégrader les taux de réussite à l'IA.

Le niveau de production laitière influe sur les performances de fertilité (Tableau 18). En effet, Freret *et al* (2006) expliquent que plus la production laitière est importante et plus le taux de gestation est dégradé. Aux Trinottières, les vaches du profil C3 ont produit significativement moins (660 kg) que les animaux du profil C1 et moins 69 kg par rapport aux animaux du profil C2, sans que cela n'ait été significatif. Les animaux du profil C3 ont eu un taux de gestation significativement supérieur avec 91 % contre 78% pour les deux autres profils. De même, à Orcival, les animaux du profil C4 ont produit significativement moins que les autres profils (4859 ± 301 kg) et ont eu le meilleur taux de gestation (86%), sans que ce dernier indicateur n'ait été significativement différent.

Nos résultats sont cohérents avec ceux de Dubois *et al* (2006) qui expliquent que plus la production laitière est importante et plus le nombre d'anomalies de cyclicité ovarienne est important. En effet, le taux de gestation peut être dégradé par des anomalies de cyclicité. De même, Cutullic *et al* (2012) et Pinto *et al* (2000) ont associé incidence de MET élevée et production laitière élevée. Ainsi, les animaux qui produisent beaucoup peuvent voir leur taux de gestation dégradé par une forte incidence de MET et/ou des anomalies de cyclicité ovarienne.

Aux Trinottières, les vaches du profil C2 ont eu tendance à recevoir plus d'IA pour obtenir une gestation ($2,36 \pm 0,14$ IA) que les autres profils (C1 = $1,90 \pm 0,16$ IA et C3 = $2,23 \pm 0,14$ IA). Cela peut être dû à un taux de réussite en IA 1, 2 ou 3 plus faible (62 % contre 71 % pour C1 et 74% pour C3) sans que la différence ne soit significative. A Orcival, ce sont les vaches des profils C2 et C4 qui ont eu tendance à recevoir plus d'IA pour obtenir une gestation. En effet, les animaux de ces profils ont respectivement reçu $1,64 \pm 0,15$ IA et $1,5 \pm 0,12$ IA contre $1,17 \pm 0,17$ ou $0,20$ IA pour les profils C1 et C3. Par conséquent, les profils recevant plus d'IA ont eu un %3IA plus important. Aux Trinottières les vaches du profil C2 ont eu un %3IA significativement plus élevé (44%) que celles des profils C1 (29%) et C3 (35%). Cela peut s'expliquer par le moment de la mise à la reproduction qui correspond à la période de déficit énergétique le plus important pour les animaux (moment de la NEC minimale). De plus, cela peut être lié à de la mortalité embryonnaire précoce du fait de la forte perte d'état des animaux à ce moment ($1,38 \pm 0,03$ points). Pour les animaux d'Orcival, les vaches du profil C2 et C4 ont eu un %3IA de, respectivement, 25% et 19% contre 11% pour les animaux du profil C1 et 8% pour ceux du profil C3, sans que cette différence ne soit significative. Les animaux du profil C2 ont eu une production laitière élevée (6748 ± 346 kg) ce qui peut induire de la MET. Enfin, les vaches du profil C4 sont restées grasses tout le long de la lactation. Cela peut entraîner une toxicité sanguine avec une concentration d'AGNE plus importante. Cette forte concentration peut diminuer la production de progestérone nécessaire à l'implantation embryonnaire (Leborgne *et al*, 2013). Ainsi, si les vaches sont trop grasses, la survie embryonnaire peut être impactée.

Les périodes d'études ont varié d'environ une dizaine d'année entre les deux fermes. Les progrès génétiques réalisés de 2000 jusqu'à 2017 peuvent expliquer une partie des différences des performances de reproduction observées comme les indicateurs de fertilité. En effet, pour la ferme des Trinottières le potentiel génétique laitier a été fortement développé. Bedere *et al* (2018) suggèrent qu'une augmentation de 10 kg du potentiel laitier entraînerait une diminution du taux de réussite en IA1. Ainsi, le faible taux de réussite en IA1 des vaches des Trinottières peut s'expliquer en partie par ce potentiel génétique. De même, les performances de reproduction présentées dans la publication de Le Mezec (2017) montrent qu'au cours des années d'étude de la ferme d'Orcival (2001 à 2004), le taux de réussite moyen à l'IA était meilleur qu'au cours de la période d'étude des Trinottières (2011 à 2017). Cela peut expliquer, en partie, les meilleurs résultats de fertilité des animaux d'Orcival pour la réussite à l'IA 1, 2 et 3.

Le taux de revêlage à 90 jours traduit la capacité des animaux à être gestant avant 90 jours PP. Ainsi, cet indicateur évalue la capacité à se reproduire vite et à réussir. Les animaux qui ont perdu peu d'état réussissent, généralement, à se reproduire le plus vite. Cela s'explique, notamment, par les NEC minimales. En effet, quand un animal a une NEC inférieure à 2 alors la réussite au moment de l'IA est dégradée (Madureira *et al*, 2015). Ainsi, les animaux des profils C3 des Trinottières (NEC minimale = $2,67 \pm 0,03$), C3 et C4 à Orcival (NEC minimale respectivement de $2,10 \pm 0,07$ et $2,41 \pm 0,06$) ont eu un taux de revêlage à 90 jours significativement meilleur que les autres profils.

Pour conclure, le délai de mise à la reproduction (IV-IA1) a un impact sur la fertilité. Dans notre étude, la répartition des IV-IA1 a été très étalée. Cela peut s'expliquer par des animaux non cyclés ou non vu en chaleurs. Il aurait pu être intéressant d'observer les performances des animaux en fonction de ces différents délais de mise à la reproduction, en réalisant des fourchettes par exemple. Même, si les règles de conduite restent similaires pour toutes les vaches, l'effet de ce paramètre reste non négligeable. En effet, les vaches avec plus de temps, réussissent mieux la reproduction (Bedere *et al*, 2015). Ce délai plus long s'explique par un vêlage plus tôt dans la saison. Si les vaches vêlent avant le début de la période de reproduction alors elles attendent avant d'être mise à la reproduction. Ces éléments peuvent expliquer pourquoi les vaches maigres des Trinottières qui ont repris de l'état (C1) ont mieux réussi en première IA. Au vu de l'ensemble des facteurs pouvant influencer les résultats de fertilité, il semblerait intéressant de corriger statistiquement ces effets afin d'étudier uniquement l'effet de la NEC sur les indicateurs.

4.3. Des biais induit par la méthode

Les différents choix qui ont été réalisés au cours de cette étude ont pu créer un biais dans les résultats. Ainsi, réaliser une interpolation de la courbe de NEC des animaux a lissé la courbe et n'a pas permis de visualiser un fort problème sanitaire au cours de la lactation, en particulier lorsque des lactations ont été décrites par un nombre réduit de points. Dans les cas où l'interpolation de la NEC a permis de corriger des intervalles importants entre deux NEC, des problèmes ont peut-être été masqués, biaisant potentiellement l'interprétation de certains échecs à la reproduction. Toutefois, la NEC n'est pas un indicateur très précis et rapide pour indiquer un problème sanitaire. De même, sans cette interpolation, il est très difficile d'étudier l'effet de la NEC au cours de la lactation. En outre, si le carnet sanitaire de l'élevage est correctement renseigné, alors, les problèmes sanitaires graves peuvent être identifiés rapidement. Il aurait pu être intéressant de confronter les modifications d'état corporel avec les problèmes sanitaires liées à la reproduction.

4.3.1. Autre méthode de classification

Afin de comparer les performances de reproduction en fonction de l'état corporel des animaux, il été nécessaire d'avoir une valeur de NEC au moment des événements de reproduction. Toutefois, ces valeurs, mesurées en élevage, n'ont coïncidé que très rarement. Par conséquent, il a été nécessaire de réaliser une interpolation (spline) de NEC pour obtenir un profil d'évolution de NEC sur l'ensemble de la lactation pour chaque lactation/animal.

Analyse des courbes

La réalisation d'une classification à partir de variables explicatives (variables composantes l'ACP : cf. 3.3.1.) prédéfinies induit un certain *a priori*. Afin de ne plus induire d'*a priori*, l'utilisation d'une méthode de classification à partir d'analyse des courbes, comme celle de Arnal *et al* (2018), peut être employée. Cette méthode limite les biais induit par le choix des variables et les animaux ont des profils plus homogènes.

Gestante ou non

Une approche du type « gestante/non gestante » a été envisagée pour la réalisation des profils de NEC. Cependant, cette méthode a été testée par l'INRA et n'a rien montré de significatif, elle n'a donc pas été retenue pour la réalisation de ce mémoire. Toutefois, avec une base de données plus importante et plus de variables liées aux systèmes (utilisation de mono traite par exemple), cette approche pourrait être à nouveau testée afin de l'éliminer définitivement ou non.

4.3.2. Choix des variables composants l'ACP

Variable à jour fixe

L'objectif final du projet est de proposer un outil d'aide à la décision pour les éleveurs. Cet outil se baserait sur la NEC et proposerait différents choix de conduites à l'éleveur. Au moment du choix de la mise à la reproduction, l'éleveur ne connaît que les informations disponibles jusqu'à ce moment-là. A titre d'exemple, si la mise à la reproduction se fait à 70 jours PP, alors l'éleveur n'a des informations que jusqu'à 70 jours PP. Il ne connaîtrait la NEC minimale qu'à la fin de la lactation. Par conséquent, il semblerait intéressant de s'appuyer sur plus d'indicateurs en début de lactation (autour des 50 premiers jours PP) qui puissent permettre de prédire la suite de la reproduction. De même, des indicateurs lors de la période de tarissement (NEC 30 jours avant la date de vêlage prévu par exemple) peuvent être étudiés afin de laisser une marge de manœuvre à l'éleveur pour faire évoluer cette note. L'utilisation de la NEC à 56 jours a bien discriminé les individus et semble correspondre au moment des premières IA. Il semble donc intéressant de conserver cette approche. Une autre solution serait d'utiliser des variables à des moments fixes, comme la NEC à 50, 70 ou 110 jours par exemple, que l'éleveur sélectionnerait en fonction de ces choix de mise à la reproduction. Toutefois, cela impliquerait de faire des profils différents pour chaque seuil. Cela pourrait être une méthode difficilement applicable en élevage.

4.3.3. Choix du modèle d'analyse

Modèle mixte d'analyse des variances

Pour limiter l'effet « animal » un modèle mixte aurait pu être utilisé afin de créer un effet aléatoire au sein du jeu de données. Cependant, comme un grand nombre des animaux (56%) n'ont été présent qu'une seule fois dans le jeu de données, il n'a pas été possible de le réaliser sans perdre en puissance statistique. Nous avons, donc, choisi de conserver plus de puissance statistique que de précision car cette étude est une étude préliminaire.

Analyse commune des fermes expérimentales

En fonction des variables choisies et des populations sélectionnées, la classification varie énormément. De plus, si la classification est faite à l'échelle de l'élevage ou à l'échelle de toute la base de données cette dernière varie beaucoup. En effet, lorsque les analyses ont été réalisées sur plusieurs fermes ensemble (par l'INRA), il a été constaté que les animaux étaient très peu mélangés. Certains profils de NEC ont eu tendance à être représentatif d'une ferme plutôt que d'un groupe homogène d'animaux. La différence de NEC moyenne entre deux fermes peut s'expliquer par plusieurs raisons. Cette différence peut être due à un effet notateur où les techniciens opérant à Orcival ont eu une moyenne plus basse comparativement à ceux opérant aux Trinottières. Une autre raison peut être que les vaches ont été plus maigres, globalement, à Orcival du fait de l'alimentation et des essais réalisés. L'utilisation de valeurs centrées des NEC par rapport à la moyenne aurait pu permettre de limiter le biais induit par l'effet ferme. Toutefois, cette méthode a déjà été testée par le groupe de travail et n'a pas permis d'obtenir un meilleur mélange des animaux lors de la classification. Le choix de cette méthode n'a donc pas été fait pour ce mémoire.

Choix des indicateurs

La finalité de ce projet est de créer un outil pour les éleveurs. Cependant, certains indicateurs utilisés dans l'analyse des performances de reproduction ne sont pas ou peu employés par les techniciens et les éleveurs.

En effet, le taux de revêlage à 90 jours que nous avons utilisé permet d'identifier la part d'animaux qui se reproduit très rapidement après le vêlage. Toutefois, dans une situation où l'IV-IA1 moyen est tardif, comme dans notre jeu de données (environ 85 jours), il ne semble pas pertinent. En effet, seul 69% et 55% des animaux, respectivement pour les Trinottières et Orcival, ont leur première IA avant 90 jours PP. Enfin, pour les animaux avec une IA1 avant 90 jours PP, le nombre d'IA réalisées est obligatoirement limité.

La dynamique de la NEC sur un faible intervalle de temps est difficilement valorisable. Tout d'abord, la mesure en elle-même par un conseiller sur un intervalle court (1 à 3 semaine) est difficilement applicable dans le cadre d'un suivi standard en élevage. En complément, l'évolution des réserves corporelles, soit la NEC, est lente et donc peu informative au moment de la mise à la reproduction. A l'inverse, elle est à appréhender en début de lactation.

Enfin, l'étude de la NEC lors des inséminations (IA1, 2, 3 et IAF) nous semblait intéressante pour étudier les effets de la NEC sur la reproduction. Cependant, les valeurs obtenues n'ont fait que suivre les profils établis et ne nous ont pas permis de tirer de conclusion.

Effet partiel

Dans le tableau 17, beaucoup de p-value se sont situées entre 0,10 et 0,20. En outre, les différences entre les performances de reproduction, selon l'appartenance à un type de profil de NEC, ont semblé être importantes. A titre d'exemple, la comparaison entre deux profils met en évidence une différence de 17 points pour le taux de gestation sans que cela ne ressorte statistiquement significatif alors que d'un point de vue zootechnique cette différence est conséquente.

Ces p-value « faibles » peuvent, s'expliquer par la grande variabilité du jeu de données. Elles peuvent, aussi, être dues au fait que la NEC n'a qu'un effet partiel sur les performances de reproduction. Cela signifie qu'une ou plusieurs autres variables, liées à la NEC, ont un effet sur les performances de reproduction.

L'amplitude des extrêmes des profils d'Orcival est plus importante que celle des profils des Trinottières du fait d'un nombre plus important de profils. Si ce nombre de profil avait été plus restreint peut être que les différences de performances observées à Orcival auraient également pu être significatives.

Odds ratio

L'utilisation du Khi deux permet d'établir l'indépendance entre deux variables qualitatives. Dans notre étude, ce test ne permet pas de mettre en évidence une différence entre deux profils pour hiérarchiser leurs performances de reproduction. L'utilisation d'odds ratio aurait pu permettre cette identification. Dans les analyses futures, il sera intéressant d'employer ce modèle afin de renforcer l'analyse des résultats.

4.4. Facteurs pouvant impacter les résultats

Taille de l'échantillon

Les résultats de la ferme d'Orcival n'ont pas été significatifs contrairement à ceux de la ferme des Trinottières. Cela peut avoir plusieurs causes. En effet, l'échantillon étudié sur les Trinottières a été plus important que celui d'Orcival. La taille d'un échantillon permet d'avoir une puissance statistique plus importante (Bourque *et al*, 2009 ; Laurencelle, 2007). De plus, l'échantillon d'Orcival a comporté une plus grande variabilité au niveau des courbes de NEC que celui des Trinottières. Il se peut, aussi, qu'il n'y ait pas d'effet de la NEC sur les performances de reproduction.

Aux Trinottières, il a semblé exister une différence de performances de reproduction entre les types de profils de NEC. Cependant, la différence n'a pas été significative. Cela peut s'expliquer par une trop grande variabilité au sein du jeu de données. De même, le poids des différents profils à Orcival peut, aussi, limiter la puissance statistique. En effet, les groupes étaient composés d'une population avec une grande variabilité au sein des performances de reproduction. Cette variabilité peut masquer les effets de la NEC sur les performances de reproduction.

Historique des animaux

Les données fournies pour l'étude n'ont pas porté sur la première période de reproduction des animaux, la mise à la reproduction des génisses. Ces informations pourraient permettre de voir si les animaux ont déjà eu du mal à se reproduire la première fois. En effet, si une génisse met longtemps pour réussir la reproduction, on peut supposer qu'elle sera prédisposée à mal réussir la reproduction dans les lactations suivantes.

Mono-traite

La majorité des NEC attribuées se sont situées entre 1 et 4 mais des extrêmes sont visibles (Figures 11 et 12). Cela démontre que les notateurs ont utilisé la grille de notation dans son ensemble. En effet, ils n'ont pas attribué uniquement des notes moyennes aux animaux mais si un animal devait avoir une NEC extrême, alors, elle lui a été attribuée. Les animaux des Trinottières ont eu des NEC plus élevées que celles des vaches d'Orcival, en moyenne (-0,45 points). Cet écart peut s'expliquer par des notateurs réalisant des notations avec une moyenne de référence plus faible ou des animaux moins en état. Toutefois, à Orcival, les animaux du profil C4 ont une NEC moyenne assez élevée en comparaison des autres profils (C1<+1,34 ; C2<+1,12 ; C3<+0,24 point de NEC). Ce profil est principalement composé de vaches en mono-traite. Cela est cohérent avec les résultats de Pomiès *et al* (2010) qui expliquent que la mono-traite influence directement la NEC. En effet, comme il y a une moins forte sollicitation de la lactation sur les réserves corporelles, alors, la vache va en mobiliser moins. Ainsi, en mono traite les animaux ont une NEC plus élevée de 0,9 à 1 point de plus qu'une vache en traite classique. En outre, les NEC cibles sont plus facilement atteintes pour les objectifs de mise à la reproduction ce qui peut expliquer les meilleurs résultats de reproduction de ce groupe.

Niveau d'alimentation

Dans notre étude les profils de NEC n'ont pas été caractérisés par le type d'alimentation. Cela peut s'expliquer par des écarts faibles des différentes conduites alimentaires. En effet, les rations proposées aux Trinottières ne mettaient pas les animaux en difficulté car leurs besoins énergétiques étaient couverts (Jurquet *et al*, 2018 ; Rouille *et al*, 2015). Toutefois, le second stage de CowPILOT a permis de mettre en évidence (au Pin au Haras) que les animaux conduit en système d'alimentation « Bas » (uniquement du pâturage) ont eu des performances de reproduction dégradées par rapport aux autres systèmes de conduite alimentaire. Cette piste d'étude ne doit donc pas être écartée pour les analyses futures.

Les résultats de cette étude préliminaire permettent de valider notre première hypothèse. En effet, *la dynamique des réserves corporelles, seule, a semblé avoir un effet sur les performances de reproduction*. La NEC au vêlage associée à l'intensité de la perte en début de lactation ainsi qu'au moment de la NEC minimale ont semblé avoir affecté les performances de reproduction. Toutefois, les résultats tendent à réfuter que *la dynamique des réserves corporelles, seule, permet de prédire les performances de reproduction*. De nombreuses différences de performances, zootechniquement importantes, sont apparues dans nos résultats mais n'ont pas été statistiquement significatives.

Il reste donc à approfondir les recherches avec d'autres approches d'analyses (analyse des courbes, correction d'effets cumulés par plusieurs variables liées à la NEC, utilisation d'odds ratio) afin d'être plus précis dans l'analyse de nos données. Cela permettra également de valider ou non la tendance apparue de l'effet de la NEC sur les performances de fertilité et le délai de mise à la reproduction.

Enfin, pour mieux correspondre à la finalité du projet, il pourrait être intéressant de recentrer les questionnements de l'étude autour des finalités de l'éleveur. En effet, les indicateurs de la reproduction étudiés sont peut-être trop nombreux et ne permettent pas à un éleveur de s'appuyer sur les résultats obtenus pour optimiser sa conduite de troupeau. Il faudrait pouvoir identifier plusieurs types de conduite attendus par les éleveurs comme le délai de la mise à la reproduction après le vêlage, la durée de la période de reproduction ou bien le niveau de réussite attendu. En effet, il serait intéressant de pouvoir caractériser des profils d'animaux plus susceptibles de réussir en première IA plus ou moins rapidement après le vêlage selon les objectifs de l'éleveur. Ainsi, il reste encore beaucoup de discussion à avoir sur la finalité du projet pour déterminer quelles sont les analyses complémentaires à réaliser.

Conclusion

Les réserves corporelles permettent aux vaches laitières de subvenir à leurs besoins en cas de déficit énergétique, comme en début de lactation (jusqu'au pic). Elles soutiennent des fonctions métaboliques comme la lactation, la reproduction ou la gestation. Ces réserves corporelles sont évaluées à travers la NEC. L'étude régulière de cette NEC au cours de la lactation permet de déterminer si les besoins énergétiques sont couverts ou non.

Les éleveurs cherchent à améliorer les performances de reproduction de leur troupeau grâce aux indicateurs de fécondité et de fertilité. Pour cela, ils établissent des stratégies de reproduction mais elles peuvent être impactées par des états physiologiques de l'animal (durée de l'anoestrus, cyclicité ovarienne anormale, expression des chaleurs ...). En élevages laitiers, les réserves corporelles sont mobilisées pour la lactation aux dépens de la reproduction.

Cette étude a permis de mettre en évidence 4 types de profils d'évolution de NEC. Le premier est constitué d'animaux avec une NEC au vêlage élevée ($>2,5$) et qui perdent beaucoup d'état corporel au début de la lactation (C1 aux Trinottières et à Orcival). Les performances de ces profils sont assez dégradées. Le second type de profil est composé de vaches avec une NEC au vêlage élevée et qui perdent de l'état tardivement dans la lactation (>84 jours PP ; C2 et C3 respectivement aux Trinottières et à Orcival). Les résultats de reproduction de ce type de profil sont très dégradés. Le profil C2 d'Orcival a la particularité d'avoir des animaux avec une NEC moyenne au vêlage ($2,13 \pm 0,08$) mais qui ne perdent que modérément de l'état en début de lactation. Ce profil a des performances de reproduction meilleures que celles des profils précédant. Enfin le dernier type de profil est constitué d'animaux avec une NEC au vêlage élevée et qui ne perdent que modérément de l'état en début de lactation (C3 et C4 respectivement aux Trinottières et à Orcival). Ce sont les profils avec les meilleures performances de reproduction. Globalement, beaucoup de performances de reproduction sont sorties avec un effet significatif du profil d'évolution de la NEC sans mettre en évidence de différence entre les profils. Toutefois, les écarts constatés semblent zootechniquement conséquents. La NEC semble avoir un effet sur les performances de reproduction mais ne permet pas de prédire, seule, ces performances.

La base de données aurait dû comporter trois fermes de plus à savoir la ferme de La Blanche maison, la ferme de Derval et la ferme de Trévarez. Toutefois, les données expérimentales n'étaient pas complètes ou n'étaient pas disponibles au moment de la rédaction de ce mémoire. Des analyses restent à mener sur ces fermes pour valider ou non les résultats de notre étude.

Enfin, il restera à déterminer dans quelle mesure les agriculteurs sont prêts à utiliser la NEC pour piloter la reproduction de leur troupeau. En effet, il faut trouver des solutions applicables à leur système et en accord avec leurs objectifs.

Bibliographie

- Allain, C., Chanvallon, A., Clement, P., Guatteo, R., Bareille, N., 2014. Elevage de précision : périmètre, applications et perspectives en élevage bovin. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 3–10.
- Arnal, M., Robert-Granié, C., Larroque, H., 2018. Diversity of dairy goat lactation curves in France. *J. Dairy Sci.* 101, 11040–11051.
- Barbat, A., Druet, T., Bonaiti, B., Guillaume, F., Colleau, J.J., Boichard, D., 2005. Bilan phénotypique de la fertilité à l'insémination artificielle dans les trois principales races laitières françaises. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 137–140.
- Bazin, S., 1984. Grille de notation de l'état d'engraissement des vaches Pie Noires. RNED bovin, Paris.
- Bedere, N., 2016. Aptitude des vaches laitières à se reproduire en systèmes pâturants contrastés: Quelle vache pour quel système? *Agrocampus Ouest*.
- Bedere, N., Cutullic, E., Delaby, L., Garcia-Launay, F., Disenhaus, C., 2018. Meta-analysis of the relationships between reproduction, milk yield and body condition score in dairy cows. *Livestock Sci.* 210, 73–84.
- Bedere, N., Delaby, L., Leurent-Colette, S., Disenhaus, C., 2015. Les vaches capables de limiter leur production laitière et leur amaigrissement lors d'une restriction alimentaire sont celles qui se reproduisent le mieux. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 199–202.
- Bewley, J.M., 2010. Precision Dairy Farming: Advanced Analysis Solutions for Future Profitability. The first north American conference on precision dairy management.
- Bidan, F., Le Mezec, P., Dimon, P., Salvetti, P., Lejard, A., Bareille, N., 2019. REPROSCOPE : l'observatoire de la reproduction des bovins en France. *Innovations Agronomiques*, pp. 1–13.
- Bidan, F., Le Mezec, P., Dimon, P., Salvetti, P., Lejard, A., Bareille, N., 2018. REPROSCOPE : l'observatoire de la reproduction des bovins en France. *Renc. Rech. Rum.*
- Blanc, F., Paccard, P., Gatién, J., De La Torre, A., Ponsart, C., Egal, D., Krauss, D., Delval, E., Agabriel, J., 2010. Caractérisation de l'œstrus chez la vache allaitante : quantification des manifestations comportementales et facteurs de variation. *Ren. Rech. Rum.*, pp. 121–124.
- Boichard, D., 2000. Production et fertilité chez la vache laitière. *Commission bovine*, pp. 33–34.
- Bourque, J., Blais, J.G., Larose, F., 2009. L'interprétation des tests d'hypothèses : p, la taille de l'effet et la puissance. *RSE* 35, 211–226.
- Burke, C.R., Roche, J.R., 2007. Effects of Pasture Feeding During the Periparturient Period on Postpartum Anovulation in Grazed Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90, 9.
- Butler, W.R., 2000. Nutritional interactions with reproductive performance in dairy cattle. *Anim. Reprod. Sci.* 60–61, 449–457.
- Chilliard, Y., 1987. Revue bibliographique : Variations quantitatives et métabolisme des lipides dans les tissus adipeux et le foie au cours du cycle gestation-lactation 2e partie : chez la brebis et la vache. *Reprod. Nutr. Dévelop.* 27, 347–396.
- Cornillon, P.A., Guyader, A., Husson, F., Jegou, N., Josse, J., Kloareg, M., Matzner-Lober, E., Rouvière, L., 2010. *Statistique avec R, 2ème édition augmentée*. ed. Presses universitaires de Rennes.
- Cournut, S., Chauvat, S., 2012. L'organisation du travail en exploitation d'élevage : analyse de 630 bilans travail réalisés dans huit filières animales. *INRA Prod. Anim.* 25, 101–112.
- Cournut, S., Chauvat, S., 2010. Work organisation in livestock farms and farm liveability: Research findings from France. *European IFSA Symposium*, pp. 1148–1157.
- Cutullic, E., Delaby, L., Gallard, Y., Disenhaus, C., 2012. Towards a better understanding of the respective effects of milk yield and body condition dynamics on reproduction in Holstein dairy cows. *Animal* 6, 476–487.
- Cutullic, E., Delaby, L., Gallard, Y., Disenhaus, C., 2010. L'effet de la stratégie d'alimentation sur la reproduction des vaches laitières varie selon la race et les différentes phases du cycle de reproduction. *Ren. Rech. Rum.*, pp. 149–152.

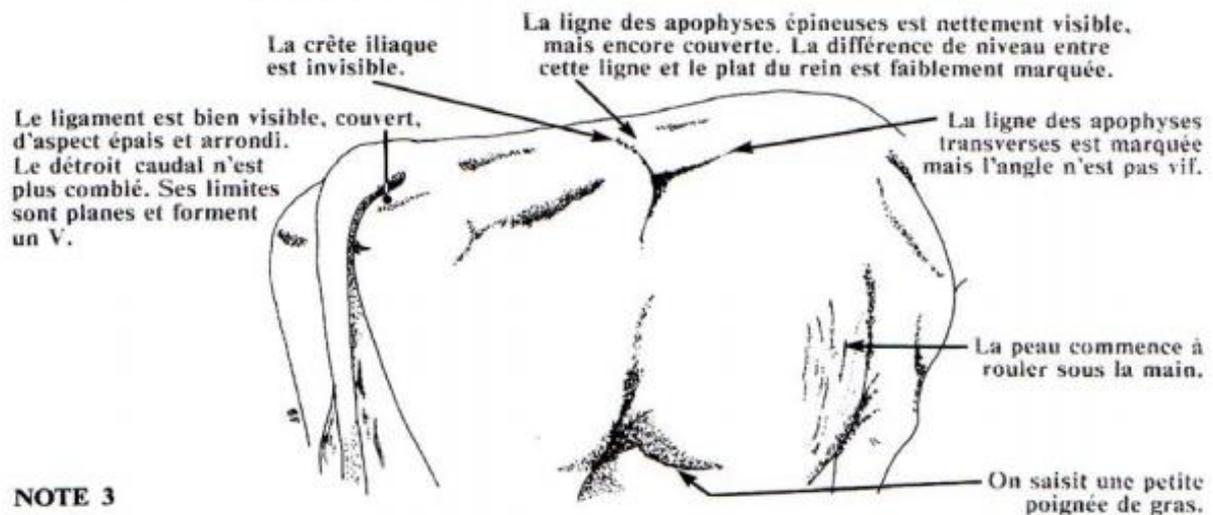
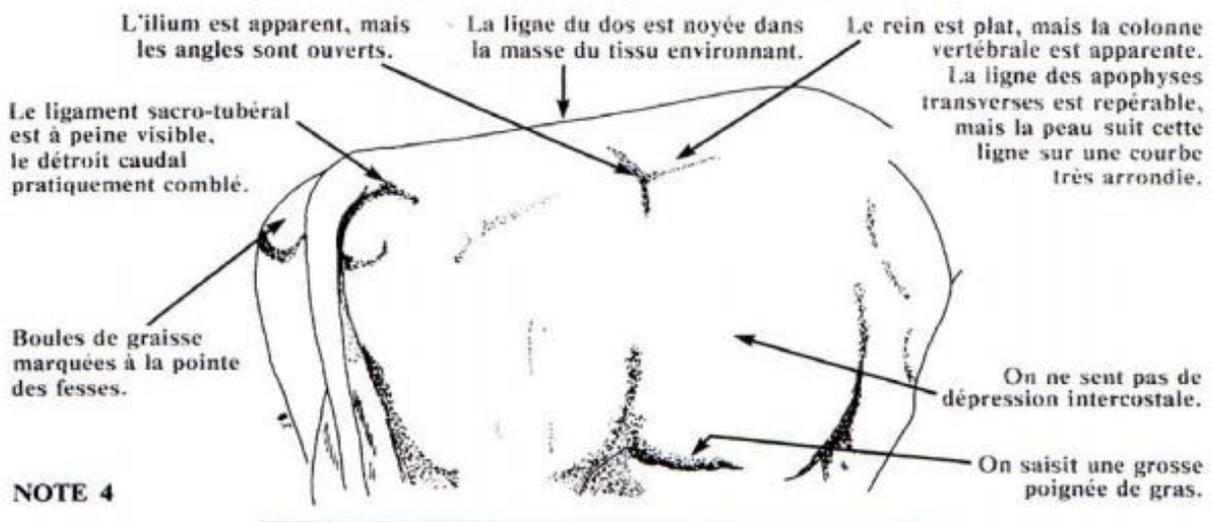
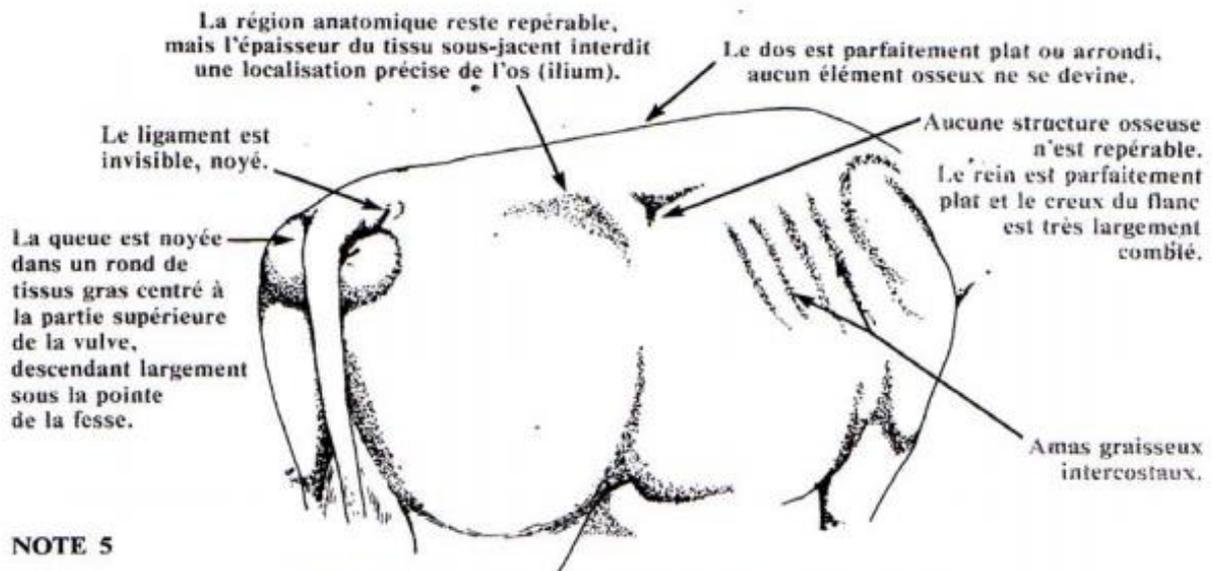
- De La Torre, A., Agabriel, J., 2017. Prendre en compte l'efficacité alimentaire des vaches allaitantes dans les recommandations alimentaires à travers la quantification de leurs dépenses non productives. *INRA Prod. Anim.* 30, 153–164.
- Delaby, L., Faverdin, P., Michel, G., Disenhaus, C., Peyraud, J.L., 2009. Effect of different feeding strategies on lactation performance of Holstein and Normande dairy cows. *Animal* 3, 891–905.
- DeLaval, 2018. Note d'état corporel DeLaval BCS - DeLaval. <https://www.delaval.com/fr-fr/nos-solutions/farm-management/delpro-precision-analytics/delaval-body-condition-scoring-bcs/> (accessed 7.11.19).
- Disenhaus, C., Cutullic, E., Blanc, F., Gatién, J., Agabriel, J., Hetreau, T., Michel, G., Paccard, P., Badinand, F., Egal, D., Ponsart, C., 2008. Caractéristiques comparées de la cyclicité après vêlage de différentes races bovines. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 383–386.
- Disenhaus, C., Grimard, B., Trou, G., Delaby, L., 2005a. De la vache au système : s'adapter aux différents objectifs de reproduction en élevage laitier ? *Renc. Rech. Rum.*, pp. 125–136.
- Disenhaus, C., Grimard, B., Trou, G., Delaby, L., 2005b. De la vache au système : s'adapter aux différents objectifs de reproduction en élevage laitier ? *Renc. Rech. Rum.*, pp. 125–136.
- Dubois, P., Freret, S., Charbonnier, G., Humblot, P., Ponsart, C., 2006. Influence des paramètres laitiers sur la régularité de cyclicité post-partum et les performances de reproduction en race Prim' Holstein. *Renc. Rech. Rum.*, p. 295.
- Dufour, A., Dedieu, B., 2010. Rapports au temps de travail et modes d'organisation en élevage laitier 19, 377–382.
- Fischer, A., Luginbühl, T., Delattre, L., Delouard, J.M., Faverdin, P., 2015. Rear shape in 3 dimensions summarized by principal component analysis is a good predictor of body condition score in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98, 4465–4476.
- Freret, S., Charbonnier, G., Congnard, V., Jeanguyot, N., Dubois, P., Levert, J., Humblot, P., Ponsart, C., 2005. Expression et détection des chaleurs, reprise de la cyclicité et perte d'état corporel après vêlage en élevage laitier. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 149–152.
- Freret, S., Ponsart, C., Rai, D.B., Jeanguyot, N., Paccard, P., Humblot, P., 2006. Facteurs de variation de la fertilité en première insémination et des taux de mortalités embryonnaires en élevages laitiers Prim' Holstein., in: *Renc. Rech. Rum.* pp. 281–284.
- Friggens, N.C., Disenhaus, C., Petit, H.V., 2010. Nutritional sub-fertility in the dairy cow: towards improved reproductive management through a better biological understanding. *Animal* 4, 1197–1213.
- Garcia, F., Agabriel, J., 2007. Recommandations alimentaires pour les vaches de réforme à l'engrais. Développement d'un modèle d'estimation de la composition du gain de poids et des besoins associés. *INRA Prod. Anim.* 20, 137–150.
- Hoden, A., Coulon, J.B., 1991. Maîtrise de la composition du lait : influence des facteurs nutritionnels sur la quantité et les taux de matières grasses et protéiques (1). *INRA Prod. Anim.* 4, 361–367.
- Hostiou, N., Allain, C., Chauvat, S., Turlot, A., Pineau, C., Fagon, J., 2014. L'élevage de précision : quelles conséquences pour le travail des éleveurs ? *INRA Prod. Anim.* 27, 113–122.
- IDELE, 2016. F@rm XP . URL <http://idele.fr/linstitut-de-lelevage/notre-environnement/frm-xp.html> (accessed 7.30.19).
- Inchaisri, C., Jorritsma, R., Vos, P.L.A.M., van der Weijden, G.C., Hogeveen, H., 2010. Economic consequences of reproductive performance in dairy cattle. *Theriogenology* 74, 835–846.
- Jarrige, R., Rosseti, C., 1957. Etudes sur les variations de la richesse en constituants azotés des laits de vache. III- Différences individuelles dans la teneur et la répartition des constituants azotés. *Annales de zootechnie* 6, 64–80.
- Jurquet, J., Lamy, J.M., Manceaux, C., Gele, M., Prezelin, M., Bidan, F., Roine, D., Vaillant, B., Servans, C., Brun, T., 2018. Livrer plus de lait dans un contexte d'après quota et de bâtiments saturés : plus de lait par vache ou plus de vaches ? *Renc. Rech. Rum.*, pp. 144–148.

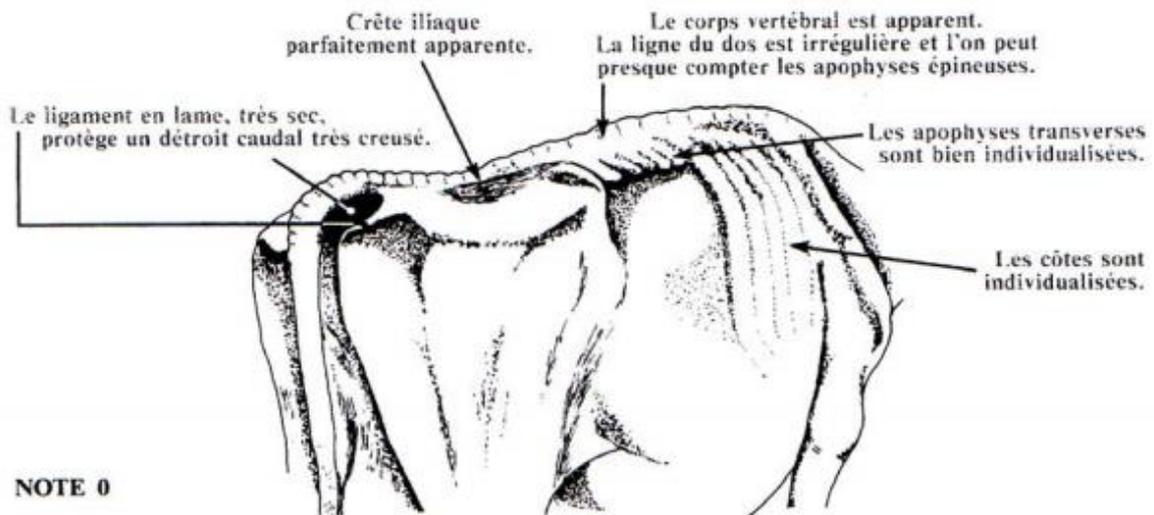
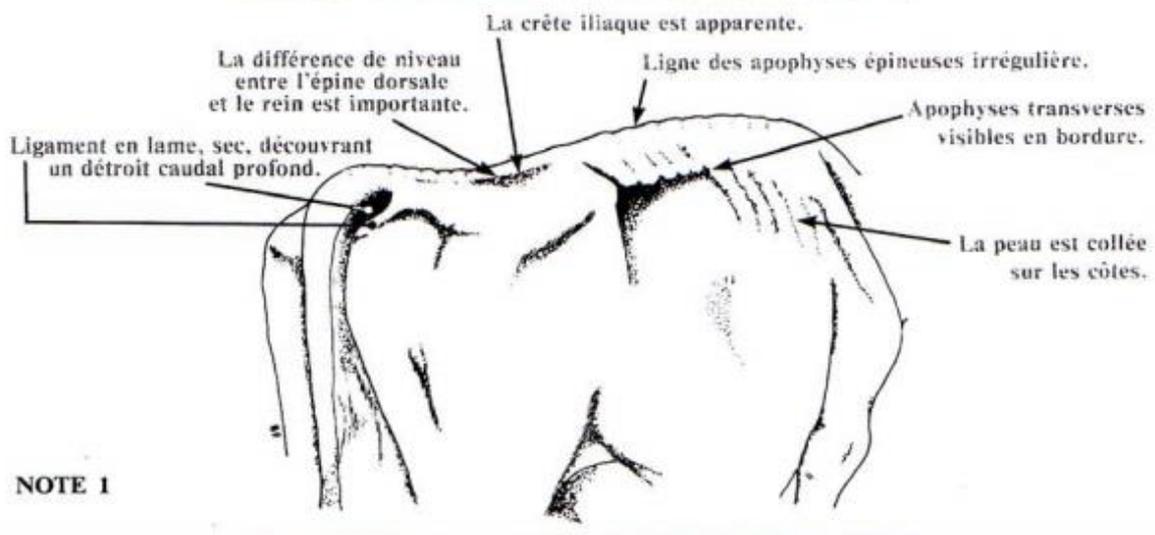
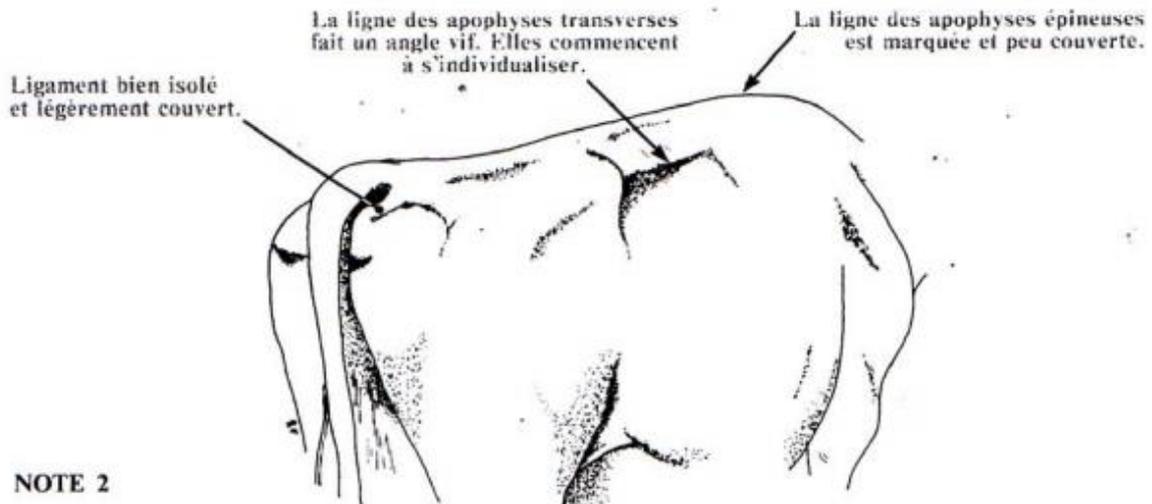
- Laurencelle, L., 2007. Inventer ou estimer la puissance statistique ? Quelques considérations utiles pour le chercheur. *TQMP* 3, 35–42.
- Le Cozler, Y., 2013. Réussir l'élevage des génisses laitières, de la naissance au vêlage.
- Le Mezec, P., 2017. Fertilité des vaches laitières : la situation s'améliore. *Le Point Vétérinaire Hors série*, 18–22.
- Le Mezec, P., Barbat, A., Barbier, S., De Cremoux, R., Gion, A., Ponsart, C., 2010. Evolution de la fertilité et impact de la FCO sur la reproduction du cheptel laitier français. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 157–160.
- Leborgne, M.C., Tanguy, J.M., Foisseau, J.M., Selin, I., Vergonzanne, G., Wimmer, E., 2013. *Reproduction des animaux d'élevage*, Troisième édition. ed. Educagri éditions.
- Ledos, H., Moureaux, S., 2013. Durée de gestation pour les principales races de l'espèce bovine. Moyenne et variabilité.
- Ledoux, D., Humblot, P., Constant, F., Ponter, A.A., Grimard, B., 2006. Echecs précoces de gestation chez la vache laitière. *Le Point Vétérinaire* 50–55.
- Lopez, H., Satter, L.D., Wiltbank, M.C., 2004. Relationship between level of milk production and estrous behavior of lactating dairy cows. *Anim. Reprod. Sci.* 81, 209–223.
- López-Gatius, F., Yániz, J., Madriles-Helm, D., 2003. Effects of body condition score and score change on the reproductive performance of dairy cows: a meta-analysis. *Theriogenology* 59, 801–812.
- Lucy, M.C., Verkerk, G.A., Whyte, B.E., Macdonald, K.A., Burton, L., Cursons, R.T., Roche, J.R., Holmes, C.W., 2009. Somatotropic axis components and nutrient partitioning in genetically diverse dairy cows managed under different feed allowances in a pasture system. *J. Dairy Sci.* 92, 526–539.
- Madureira, A.M.L., Silper, B.F., Burnett, T.A., Polsky, L., Cruppe, L.H., Veira, D.M., Vasconcelos, J.L.M., Cerri, R.L.A., 2015. Factors affecting expression of estrus measured by activity monitors and conception risk of lactating dairy cows | Elsevier Enhanced Reader. *J. Dairy Sci.* 98, 7003–7014.
- Pedernera, M., García, S.C., Horagadoga, A., Barchia, I., Fulkerson, W.J., 2008. Energy balance and reproduction on dairy cows fed to achieve low or high milk production on a pasture-based system. *J. Dairy Sci.* 91, 3896–3907.
- Pinto, A., Bouca, P., Chevallier, A., Freret, S., Grimard, B., Humblot, P., 2000. Sources de variation de la fertilité et des fréquences de mortalité embryonnaire chez la vache laitière. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 213–216.
- Pomiès, D., Caré, S., Veissier, I., 2010. Monotraite combinée à l'allaitement chez les vaches Prim'Holstein. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 233–236.
- Pomiès, D., Vimal, T., Bony, J., Coulon, J.B., 1998. Mise en place d'un robot de traite dans une ferme expérimentale : premiers résultats obtenus à l'INRA. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 335–338.
- Ponsart, C., Frappat, B., Le Mezec, P., Freret, S., Seegers, H., Paccard, P., Humblot, P., 2007. Une palette d'outils pour améliorer la reproduction des vaches laitières. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 351–358.
- Ponsart, C., Freret, S., Charbonnier, G., Giroud, O., Dubois, P., Humblot, P., 2006a. Description des signes de chaleurs et modalités de détection entre le vêlage et la première insémination chez la vache laitière. *Renc. Rech. Rum.*, pp. 273–276.
- Ponsart, C., Leger, T., Dubois, P., Charbonnier, G., Freret, S., Humblot, P., 2006b. Identification de profils de note d'état caractérisant des primipares et des multipares de race Prim'Holstein et relations avec le délai de mise à la reproduction. *Renc. Rech. Rum.*, p. 288.
- Protrack, 2018. Protrack® BCS – Automated Body Condition Score in Cows. <https://www.lic.co.nz/products-and-services/automation/protrack-body-condition-scoring/> (accessed 7.11.19).
- Pryce, J.E., Coffey, M.P., Simm, G., 2001. The Relationship Between Body Condition Score and Reproductive Performance. *J. Dairy Sci.* 84, 1508–1515.

- Remond, B., Robelin, J., Chilliard, Y., 1988. Estimation de la teneur en lipides des vaches laitières Pie Noires par la méthode de notation de l'état d'engraissement. *INRA Prod. Anim.* 1, 111–114.
- Robelin, J., Agabriel, J., Malterre, C., Bonnemaire, J., 1990. Changes in body composition of mature dry cows of Holstein, limousin and charolais breeds during fattening. I. Skeleton, muscles, fatty tissues and offal. *Livestock Prod. Sci.* 25, 199–215.
- Roche, J.R., Friggens, N.C., Kay, J.K., Fisher, M.W., Stafford, K.J., Berry, D.P., 2009. Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *J. Dairy Sci.* 92, 5769–5801.
- Rouille, B., Prezelin, M., Roine, D., Vaillant, B., Chanvallon, A., Roussel, P., Jurquet, J., Brun, T., Lamy, J.M., 2015. Ration simple versus ration complexe : quels impacts sur les performances de production, de santé et de reproduction chez la vache laitière ? *Renc. Rech. Rum.*, pp. 233–236.
- Seegers, H., Billon, D., Bossard-Apper, E., Ponsart, C., Bareille, N., 2010. Impact économique d'une qualité non optimale de détection des chaleurs en troupeaux laitiers à fort niveau de production. *Renc. Rech. Rum.*, p. 146.
- Spike, P.W., Freeman, A.E., 1967. Environmental influences on monthly variation in milk constituents. *J. Dairy Sci.* 50, 1897–1904. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(67\)87745-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(67)87745-2)
- Taylor, V.J., Beaver, D.E., Wathes, D.C., 2003. Physiological adaptations to milk production that affect the fertility of high yielding dairy. *Anim. Sci., Dairying, using science to meet consumer needs* 29, 37–71.
- Trigg, T.E., Topps, J.H., 1981. Composition of body-weight change during lactation in Hereford × British Friesian cows. *J. Agric. Sci.* 97, 147.
- UNCEIA, 2010. *ReproGuide*.
- Westwood, C.T., Lean, I.J., Garvin, J.K., 2002. Factors Influencing Fertility of Holstein Dairy Cows: A Multivariate Description. *J. Dairy Sci.* 85, 3225–3237.
- Wright, I.A., Russel, A.J.F., 1984a. Partition of fat, body composition and body condition score in mature cows. *Anim. Prod.* 38, 23–32.
- Wright, I.A., Russel, A.J.F., 1984b. The composition and energy content of empty body-weight change in mature cattle. *Anim. Prod.* 39, 365–369.

Annexe

Annexe 1 : Grille de notation de l'état corporel selon l'institut technique de l'élevage bovin





Annexe 2 : Données des expérimentations disponibles pour le projet CowPILOT

Domaine	Facteurs expérimentaux	Durée	Nombre lactations	Fréquence mesure NEC	Niveau information reproduction				Autres
					Cyclicité ¹	Chaleurs ²	Gestation ³	Données enregistrées ⁴	
INRA Le Pin-au-Haras	Génétique x Système	14 ans	700	Mensuelle	Oui*	Visu.	Oui	Oui	Production Santé
INRA Méjusse	Ration unique	3 ans	180	Mensuelle	Oui	Auto.	Oui	Oui	Production Santé Ingestion
INRA Orcival	Fréquence de traite	3 ans	165	Mensuelle	Oui	Visu.	Oui	Oui	Production Santé Ingestion
Ferme de la Blanche Maison 1	Alimentation : ration EM et ration herbe	2 ans	180	Mensuelle	Non	Visu.	Oui	Oui	Production Santé
Ferme de la Blanche Maison 2	Conduite en bande	1 an	90	Mensuelle	Non	Visu.	Oui	Oui	Production Santé
Ferme de Derval	Robot et pâturage	1 an	80	Mensuelle	Non	Visu.	Oui	Oui	Production Santé Ingestion
Ferme de Trévarez 1	Qualité Ensilage	3 ans	180	Mensuelle	Non	Visu.	Non	Oui	Production Santé
Ferme de Trévarez 2	Fréquence de traite	2 ans	110	Mensuelle	Non	Visu.	Non	Oui	Production Santé
Ferme de Trévarez 3	Robot au pâturage (système biologique)	2 ans	110	Mensuelle	Non	Visu.	Non	Oui	Production Santé
Ferme de Trinottières 1	Ration simple vs complexe	3 ans	180	15 j	Oui	Visu. Auto.	Oui	Oui	Production
Ferme de Trinottières 2	Système haut vs bas	3 ans	180	15 j	Oui	Visu. Auto.	Oui	Oui	Production Santé Ingestion
BILAN	11 dispositifs expérimentaux	2001-2019	2 155	≤ 1/mois	65 % des lactations	Toujours	81 % des lactations	Toujours	Au moins production

¹déterminée à partir du profil de progestérone (mesurée dans le lait)

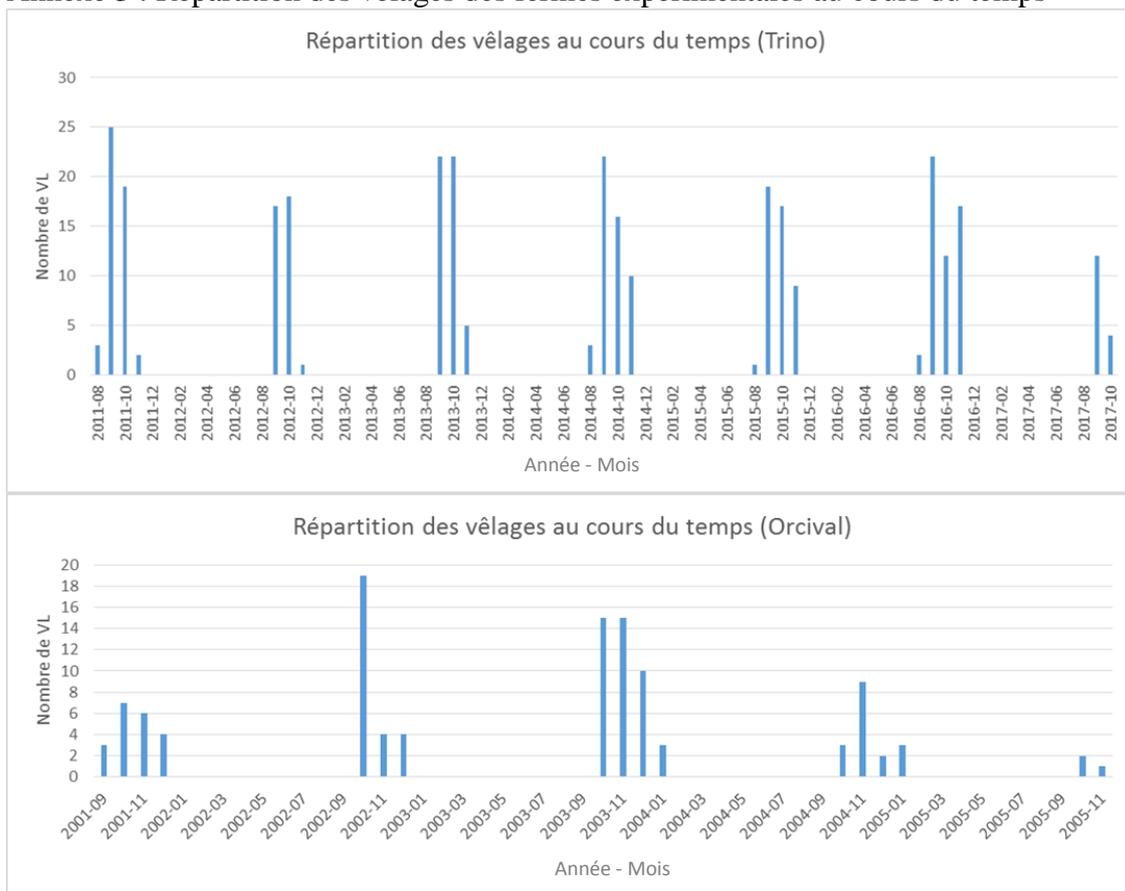
²détection des chaleurs : observation visuelle (visu.) ou détection automatisée (auto.)

³diagnostiquée par échographie (ou palpation pour un site)

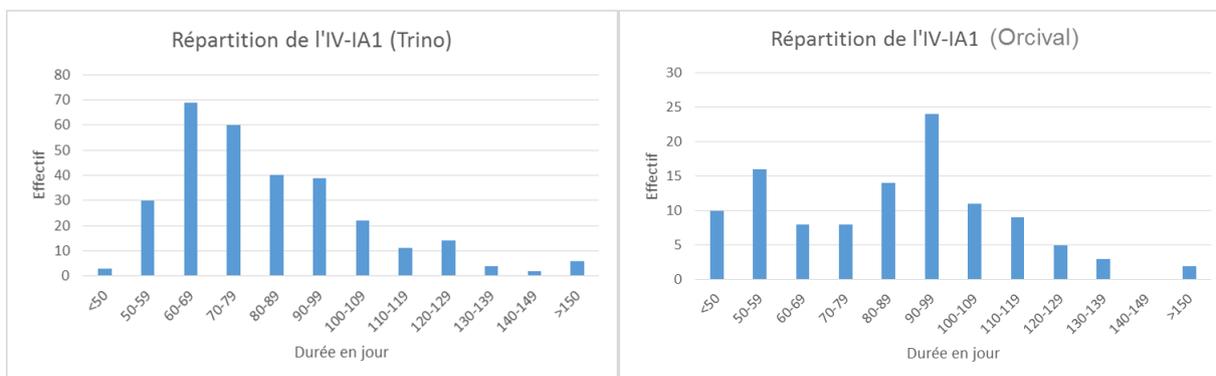
⁴dates d'insémination et de vêlage

*fin d'expérimentation en 2019 : un stage BTS (encadré par UMR PEGASE) contribuera aux dosages de la progestérone

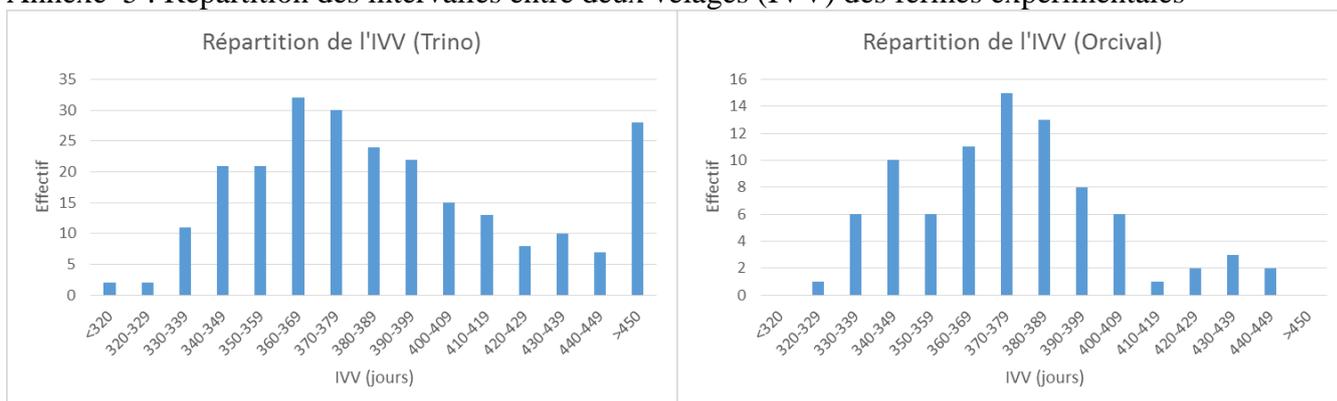
Annexe 3 : Répartition des vêlages des fermes expérimentales au cours du temps



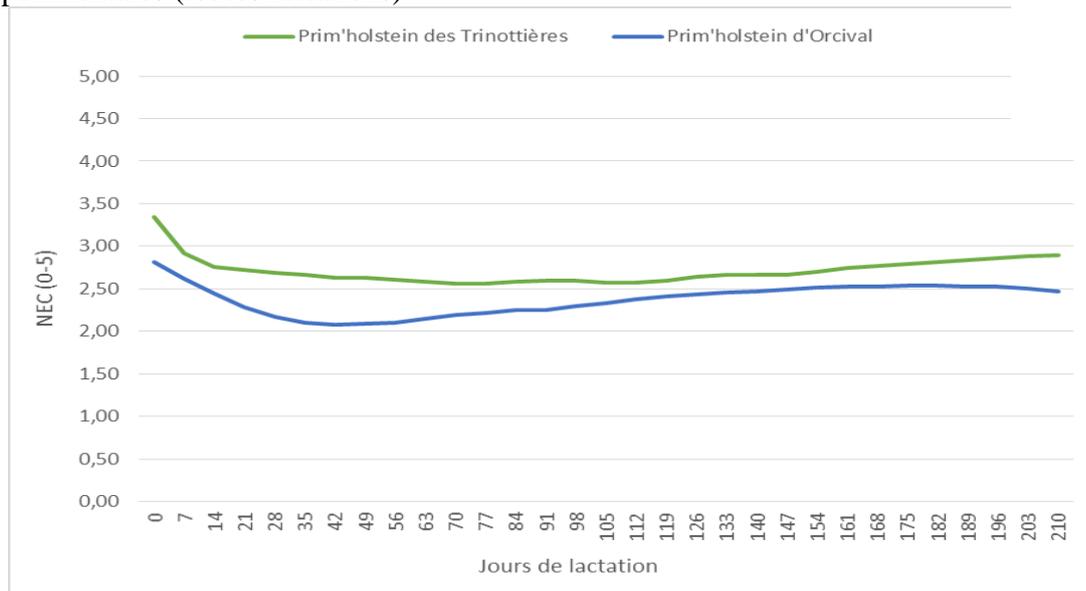
Annexe 4 : Répartition des intervalles vêlage première insémination artificielle (IV-IA1) des fermes expérimentales



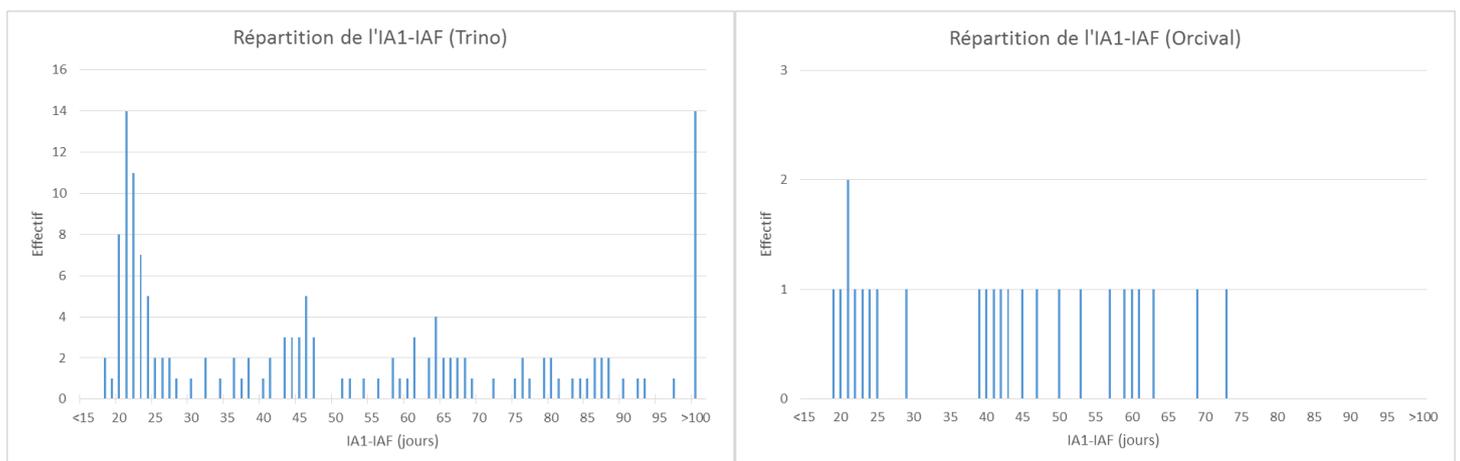
Annexe 5 : Répartition des intervalles entre deux vêlages (IVV) des fermes expérimentales



Annexe 6 : Courbes de notes d'état corporel (NEC) moyenne des troupeaux expérimentales (toutes lactations)



Annexe 7 : Répartition des intervalles première insémination artificielle-insémination fécondante (IA1-IAF) des fermes expérimentales



Annexe 8 : Résultats de la confrontation inter-profil des variables composant l'ACP (Trinottières)

	Troupeau	C1	C2	C3	RSE	P-value	
Nec Vêlage	3,34 ± 0,39	3,15 a ± 0,04	3,56 b ± 0,03	3,27 c ± 0,03	0,35	<0,001	***
Nec minimale	2,19 ± 0,52	1,62 a ± 0,03	2,19 b ± 0,03	2,67 c ± 0,03	0,32	<0,001	***
Jour de Nec Minimale	62 ± 45	52 a ± 4	84 b ± 4	46 a ± 4	41,45	<0,001	***
NEC 56 jours	2,61 ± 0,51	2,04 a ± 0,04	2,70 b ± 0,03	2,99 c ± 0,03	0,34	<0,001	***
Perte vêlage 56 J	-0,74 ± 0,48	-1,11 a ± 0,04	-0,87 b ± 0,03	-0,29 c ± 0,03	0,34	<0,001	***
Dynamique NEC 56J	-0,04 ± 0,28	0,02 a ± 0,03	-0,13 b ± 0,03	0,02 a ± 0,03	0,27	<0,001	***
Perte d'état max	1,17 ± 0,53	-1,53 a ± 0,04	-1,38 b ± 0,03	-0,62 c ± 0,04	0,36	<0,001	***
Nec 210 jours	2,89 ± 0,43	2,54 a ± 0,04	2,85 b ± 0,03	3,24 c ± 0,03	0,33	<0,001	***

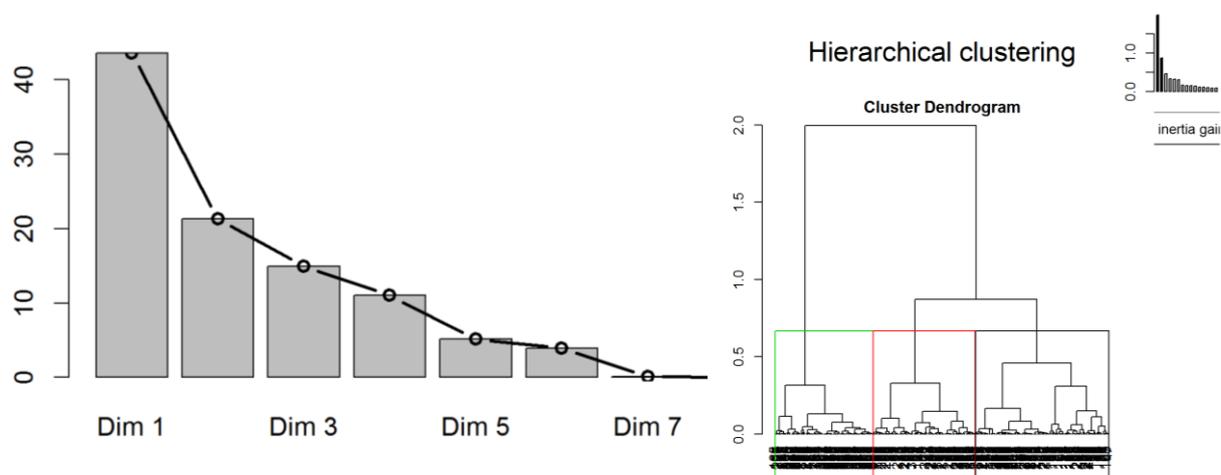
*** P<0,001: Hautement significatif ** 0,001<P<0,01: Très significatif *0,01<P<0,05: Significatif + 0,05<P<0,1: Tendence NS: Non significatif

Annexe 9 : Résultats de la confrontation inter-profil des variables composant l'ACP (Orcival)

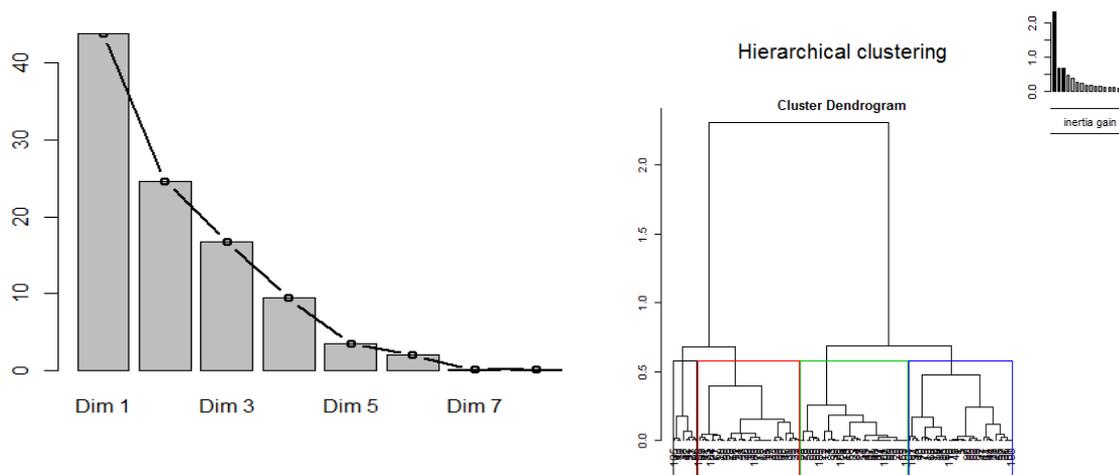
	Troupeau	C1	C2	C3	C4	RSE	P-value	
Nec Vêlage	2,81 ± 0,60	2,85 a ± 0,10	2,13 b ± 0,08	3,27 c ± 0,08	2,99 ac ± 0,07	0,43	<0,001	***
Nec minimale	1,81 ± 0,67	0,93 a ± 0,08	1,36 b ± 0,07	2,10 c ± 0,07	2,41 d ± 0,06	0,35	<0,001	***
Jour de Nec Minimale	62 ± 56	69 a ± 11	52 ab ± 9	110 c ± 9	33 b ± 8	48,15	<0,001	***
NEC 56 jours	2,10 ± 0,71	1,26 a ± 0,10	1,57 a ± 0,08	2,52 b ± 0,08	2,62 b ± 0,07	0,42	<0,001	***
Dynamique NEC J56	0,06 ± 0,21	0,13 ab ± 0,04	0 ac ± 0,04	-0,04 c ± 0,04	0,15 b ± 0,03	0,19	<0,001	***
Perte Vêlage-56J	-0,71 ± 0,61	-1,58 a ± 0,10	-0,56 bc ± 0,09	-0,74 b ± 0,09	-0,36 c ± 0,07	0,45	<0,001	***
Perte d'état max	-1,02 ± 0,61	-1,93 a ± 0,09	-0,82 b ± 0,07	-1,19 c ± 0,08	-0,60 b ± 0,06	0,39	<0,001	***
Nec 210 jours	2,47 ± 0,91	1,59 a ± 0,14	1,93 a ± 0,12	2,51 b ± 0,12	3,30 c ± 0,10	0,63	<0,001	***

*** P<0,001: Hautement significatif ** 0,001<P<0,01: Très significatif *0,01<P<0,05: Significatif + 0,05<P<0,1: Tendance NS: Non significatif

Annexe 10 : Choix du nombre de dimensions et du nombre de classes aux Trinottières



Annexe 11 : Choix du nombre de dimensions et du nombre de classes à Orcival



Annexe 12 : Résultats de fécondité en lien avec l'état corporel des animaux des Trinottières

	Effectif	Troupeau	C1	C2	C3	RSE	P-value	
Intervalles (jours):								
Vêlage-IA possible	300	57 ± 15	54 ± 2	58 ± 1	58 ± 1	14,64	0,14	NS
IA possible-IA1	300	27 ± 25	35 a ± 3	26 b ± 2	21 b ± 2	24,76	<0,001	***
IA possible-IA fécondante	248	55 ± 41	56 ± 5	61 ± 4	50 ± 4	40,66	0,19	NS
Vêlage-IA1	300	84 ± 26	89 a ± 3	84 ab ± 2	79 b ± 3	25,52	0,02	*
Perte NEC Vel-IA1	299	-0,74 ± 0,50	-1,04 a ± 0,04	-0,94 a ± 0,04	-0,28 b ± 0,04	0,37	<0,001	***
IA1-IA fécondante	248	31 ± 36	25 ± 4	36 ± 4	31 ± 4	36,03	0,20	NS
NEC IAF	248	2,65 ± 0,50	2,19 a ± 0,05	2,66 b ± 0,04	2,98 c ± 0,04	0,39	<0,001	***
Vêlage-IA fécondante	248	112 ± 42	111 ± 5	118 ± 5	108 ± 4	42,23	0,27	NS
Vêlage-Vêlage	248	390 ± 43	390 ± 5	396 ± 5	386 ± 5	42,96	0,33	NS

*** P<0,001: Hautement significatif ** 0,001<P<0,01: Très significatif *0,01<P<0,05: Significatif + 0,05<P<0,1: Tendance NS: Non significatif

Annexe 13 : Résultats de fécondité en lien avec l'état corporel des animaux d'Orcival

	Effectif	Troupeau	C1	C2	C3	C4	RSE	P-value	
Intervalles (jours):									
Vêlage-IA possible	110	63 ± 17	64 ± 4	68 ± 3	58 ± 3	63 ± 3	17,33	0,23	NS
IA possible-IA1	110	22 ± 21	32 ± 5	18 ± 4	22 ± 4	20 ± 4	21,08	0,13	NS
IA possible-IA fécondante	84	32 ± 24	31 ± 7	36 ± 5	24 ± 6	34 ± 4	23,86	0,46	NS
Vêlage-IA1	110	85 ± 27	96 ± 6	85 ± 5	80 ± 5	83 ± 4	26,47	0,22	NS
Perte NEC Vel-IA1	110	-0,53 ± 0,62	-1,39 a ± 0,1	-0,42 b ± 0,1	-0,61 b ± 0,1	-0,12 c ± 0,1	0,45	<0,001	***
IA1-IA fécondante	84	13 ± 21	7 ± 6	19 ± 4	6 ± 5	14 ± 4	21,01	0,17	NS
NEC IAF	84	2,35 ± 0,71	1,49 a ± 0,1	1,82 a ± 0,1	2,50 b ± 0,1	2,94 c ± 0,1	0,44	<0,001	***
Vêlage-IA fécondante	84	97 ± 29	102 ± 8	101 ± 6	86 ± 7	97 ± 5	29,22	0,38	NS
Vêlage-Vêlage	84	376 ± 28	372 ± 8	383 ± 6	369 ± 7	375 ± 5	27,62	0,38	NS

*** P<0,001: Hautement significatif ** 0,001<P<0,01: Très significatif *0,01<P<0,05: Significatif + 0,05<P<0,1: Tendance NS: Non significatif



VetAgro Sup

JUDE, Charlotte, 2019, La note d'état corporel, un outil qui reflète la réussite à la reproduction des vaches laitières?

Résultats préliminaires, 32 pages, mémoire de fin d'études, VetAgro Sup campus agronomique de Clermont Ferrand, 2019.

STRUCTURE D'ACCUEIL ET INSTITUTIONS ASSOCIEES :

- Maître de stage : BIDAN, Fabrice (IDELE)
- Tuteur pédagogique : BLANC, Fabienne (VetAgro Sup)

OPTION : Adapter l'élevage aux nouveaux enjeux (A2E)

Résumé :

Avec le développement d'outil numérique comme l'imagerie 3D, la mesure des réserves corporelles des vaches laitières, et leur maîtrise, pour optimiser la réussite à la reproduction via la note d'état corporel (NEC) devient plus simple et rapide. Pour cela, 410 lactations issues de deux fermes expérimentales (Les Trinottières et Orcival), ont permis de réaliser des classifications afin de définir respectivement 3 et 4 profils d'évolution de NEC. Les performances de reproduction ont été confrontées en fonction des profils de NEC grâce à un modèle simple d'ANOVA ou de Khi-deux.

Aux Trinottières, un effet significatif des profils de NEC sur le pourcentage de vaches gestantes, le pourcentage de vaches avec 3 inséminations artificielles (IA) ou plus, l'intervalle vêlage-première IA, sans mettre en évidence de meilleurs profil hormis pour ce dernier indicateur est visible. De plus, la NEC semble avoir un effet sur le nombre d'IA par vache ou par gestation et sur le pourcentage de revêlage fécondée dans les 90 jours post-partum. A Orcival, sans mettre en évidence de meilleur profil, seul ce dernier indicateur est significativement affecté et le nombre d'IA par gestation ressort en tendance.

Globalement, les profils avec les pertes d'état les plus faibles au cours de la lactation ressortent avec les meilleurs résultats de reproduction. A l'inverse les animaux avec de forte perte d'état (plus d'un point de NEC) et avec une NEC minimale tardive ont des résultats dégradés, sauf pour la réussite en première IA pour les animaux avec une $NEC > 2,5$ à 56 jours.

Mots clés : Vache laitière, reproduction, état corporel, prédiction, réserves corporelles, performances

Code documentation VetAgro Sup :