

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2021 - Thèse n° 046

FACTEURS DE REUSSITE A L'INSEMINATION ARTIFICIELLE SUITE A L'UTILISATION D'UN PROTOCOLE OVSYNCH CHEZ LES VACHES LAITIÈRES : ETUDE A PARTIR DES DONNEES ISSUES DES SUIVIS DE REPRODUCTION D'UNE CLINIQUE VÉTÉRINAIRE BRETONNE

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 1^{er} octobre 2021
Pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

Par

FABRE Axel

CAMPUS VÉTÉRINAIRE DE LYON

Année 2021 - Thèse n° 046

FACTEURS DE REUSSITE A L'INSEMINATION ARTIFICIELLE SUITE A L'UTILISATION D'UN PROTOCOLE OVSYNCH CHEZ LES VACHES LAITIÈRES : ETUDE A PARTIR DES DONNEES ISSUES DES SUIVIS DE REPRODUCTION D'UNE CLINIQUE VÉTÉRINAIRE BRETONNE

THESE

Présentée à l'Université Claude Bernard Lyon 1
(Médecine – Pharmacie)

Et soutenue publiquement le 1^{er} octobre 2021
Pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

Par

FABRE Axel

Liste des Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (20-05-2021)

ABITBOL	Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
AYRAL	Florence	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BECKER	Claire	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BELLUCO	Sara	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENOIT	Etienne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BERNY	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BOULOCHER	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BOURDOISEAU	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur émérite
BOURGOIN	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BRUYERE	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BUFF	Samuel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BURONFOSSE	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
CACHON	Thibaut	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CADORÉ	Jean-Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
CAROZZO	Claude	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CHABANNE	Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CHALVET-MONFRAY	Karine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ESCRIOU	Catherine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GALIA	Wessam	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GILOT-FROMONT	Emmanuelle	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
GONTHIER	Alain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GRANCHER	Denis	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
GREZEL	Delphine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
HUGONNARD	Marine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
JUNOT	Stéphane	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
KODJO	Angeli	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
KRAFFT	Emilie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LAMBERT	Véronique	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LE GRAND	Dominique	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
LEBLOND	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LEDoux	Dorothee	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LEFEBVRE	Sébastien	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEFRANC-POHL	² Anne-Cécile	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEGROS	Vincent	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LEPAGE	Olivier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LOUZIER	Vanessa	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
MARCHAL	Thierry	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOISSONNIER	Pierre	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOSCA	Marion	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
MOUNIER	Luc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
PEPIN	Michel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
PIN	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PONCE	Frédérique	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PORTIER	Karine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
POUZOT-NEVORET	Céline	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
PROUILLAC	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
REMY	Denise	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ROGER	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
SAWAYA	Serge	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
SCHRAMME	Michael	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
SERGENTET	Delphine	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
TORTEREAU	Antonin	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
VIGUIER	Eric	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
ZENNER	Lionel	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur

Remerciements du jury

A Monsieur le Professeur Pierre COCHAT

De l'Université Claude Bernard Lyon 1, Faculté de médecine de Lyon Sud

Pour avoir accepté la présidence de mon jury de thèse,
Mes hommages respectueux.

A Monsieur le Docteur Pierre BRUYERE

De VetAgro-Sup, Campus vétérinaire de Lyon

Pour avoir accepté le rôle de premier assesseur de ce jury,
et pour tous vos cours et TD animés qui m'ont
définitivement converti à la rurale,
Mes sincères remerciements.

A Madame la Docteure Dorothée LEDOUX

De VetAgro-Sup, Campus vétérinaire de Lyon

Pour avoir accepté le rôle de second assesseur de ce jury,
Mes remerciements chaleureux.

Table des matières

Table des annexes	15
Table des figures	17
Table des tableaux	19
Liste des abréviations	21
Introduction	23
Première partie : étude bibliographique	25
1. Physiologie de la reproduction de la vache	25
1.1. Anatomie de l'appareil reproducteur (BALL & PETERS, 2004)	25
1.1.1. L'hypothalamus	25
1.1.2. L'hypophyse.....	25
1.1.3. La vulve et le vagin.....	26
1.1.4. L'utérus.....	26
1.1.5. Les ovaires	27
1.2. Le cycle ovarien	27
1.2.1. Généralités	27
1.2.2. La croissance folliculaire	28
1.2.2.1. La folliculogénèse : du follicule primordial au follicule de De Graff	28
1.2.2.2. La phase gonadotropine-dépendante : un cheminement en plusieurs étapes	28
1.2.2.2.1. Le recrutement	29
1.2.2.2.2. La sélection	29
1.2.2.2.3. La dominance et l'ovulation	29
1.2.2.3. La particularité de la croissance folliculaire au cours de la phase lutéale	30
1.2.3. Le corps jaune.....	30
1.2.3.1. Formation, développement et maintien.....	30
1.2.3.2. La lutéolyse	30
1.3. Les régulations hormonales au cours du cycle ovarien	31
1.3.1. Les hormones en jeu.....	31
1.3.1.1. Les hormones hypothalamo-hypophysaires	31
1.3.1.1.1. La GnRH	31
1.3.1.1.2. La FSH et la LH	32
1.3.1.2. Les hormones ovariennes et utérines.....	32
1.3.1.2.1. L'œstradiol-17 β (BALL & PETERS, 2004)	32
1.3.1.2.2. L'inhibine	32

1.3.1.2.3.	Les Insulin-like Growth Factor (IGF) 1 et 2 (GINTHER, et al., 2001).....	32
1.3.1.2.4.	La progestérone.....	33
1.3.1.2.5.	La prostaglandine F2 α	33
1.3.2.	Un système complexe et bien organisé	33
1.3.2.1.	Les régulations hormonales lors de la phase folliculaire.....	33
1.3.2.2.	Les régulations hormonales lors de la phase lutéale	35
1.4.	La reprise de cyclicité <i>post-partum</i> ((OPSOMER, et al., 1996) ; (SAKAGUCHI, et al., 2004)) .	36
2.	Protocoles de synchronisation : l'exemple du protocole « GPG » (ou Ovsynch)	37
2.1.	Introduction : Apparition et mise en application des protocoles de synchronisation	37
2.2.	Le protocole Ovsynch	38
2.2.1.	Histoire de sa conception	38
2.2.2.	Déroulement et mécanisme d'action du protocole	38
2.2.3.	Indications	39
2.2.4.	Efficacité et critiques	40
2.2.5.	Avantages et inconvénients du protocole Ovsynch (NOWICKI, et al., 2017)	41
2.3.	Les modifications/variantes du protocole Ovsynch	41
2.3.1.	Protocoles sans pré-synchronisation	41
2.3.1.1.	Cosynch.....	41
2.3.1.2.	Ovsynch avec deux prostaglandines F2 α (ou protocole « GPPG »).....	42
2.3.1.3.	Ovsynch associé à un dispositif contenant de la progestérone	42
2.3.1.4.	Resynch (NOWICKI, et al., 2017)	43
2.3.1.5.	5-day Ovsynch (STEVENSON, 2016)	43
2.3.2.	Protocoles avec pré-synchronisation.....	44
2.3.2.1.	Presynch	44
2.3.2.2.	Double-Ovsynch.....	45
2.3.2.3.	Protocole « G6G ».....	46
3.	Facteurs influençant la fertilité chez la vache	46
3.1.	Facteurs individuels	46
3.1.1.	Âge.....	46
3.1.2.	Production laitière	47
3.1.3.	Note d'état corporel (NEC) et déficit énergétique	47
3.1.4.	Désordres du tractus génital.....	49
3.2.	Facteurs de troupeau	50
3.2.1.	Détection des chaleurs	50
3.2.2.	Intervalle vêlage-1 ^{ère} insémination	51
3.2.3.	Stress thermique	52

3.2.4.	Quantité de protéines dégradables dans le rumen	52
3.3.	Facteurs non étudiés dans la partie expérimentale.....	52
3.3.1.	Génétique / Race	53
3.3.2.	Technique d'insémination	53
3.3.3.	Moment de l'insémination animale par rapport à l'œstrus.....	53
3.3.4.	Importance de l'environnement lors de la gestation pour la future fertilité de la descendance (EVANS, et al., 2012).....	54
3.3.5.	Boiterie	55
Deuxième partie : étude expérimentale.....		57
4.	Matériels et méthodes	57
4.1.	Sélection des animaux et des élevages.....	57
4.2.	Collecte des données / choix des paramètres	57
4.2.1.	Cadre général	57
4.2.2.	Choix des paramètres	57
4.3.	Traitement des données.....	59
4.3.1.	Vaches sélectionnées pour l'étude statistique et constitution des groupes.....	59
4.3.2.	Variables retenues pour l'analyse statistiques et formation des classes associées	59
4.3.2.1.	Parité	59
4.3.2.2.	Variables associées à la production laitière	60
4.3.2.3.	Variables associées aux affections <i>péri-partum</i>	60
4.3.2.4.	Variables associées au déficit énergétique et à la NEC	61
4.3.2.4.1.	Variables associées à la note d'état corporel.....	61
4.3.2.4.2.	β -hydroxybutyrates <i>post-partum</i>	62
4.3.2.4.3.	Variation de production avant le pic de lactation.....	62
4.3.2.4.4.	Variables associées au taux protéique.....	62
4.3.2.4.5.	Variables associées au rapport taux butyreux/taux protéique	63
4.3.2.4.6.	Variables associées au taux butyreux	64
4.3.2.5.	Variable associée aux apports azotés	64
4.3.2.6.	Saison d'insémination.....	65
4.3.2.7.	Intervalle vêlage-insémination animale.....	65
4.3.2.8.	Variables associées aux modalités d'application du protocole et au moment du cycle ovarien lors de son initiation	66
4.3.2.9.	Elevage.....	67
4.3.2.10.	Rang d'insémination animale.....	67
5.	Résultats et discussion	68
5.1.	Analyse descriptive de l'échantillon	68

5.1.1.	Elevages.....	68
5.1.2.	Parité / rang de lactation	68
5.1.3.	Production laitière	69
5.1.4.	Modalités d'application du protocole et de l'IA.....	70
5.2.	Influence des variables étudiées sur les taux de conception	72
5.2.1.	Taux de conception global	72
5.2.2.	Influence de la parité.....	73
5.2.3.	Influence de la production laitière.....	74
5.2.4.	Influence du score vaginal et des affections <i>péri/post-partum</i>	75
5.2.4.1.	Influence du score vaginal	75
5.2.4.2.	Influence des affections <i>péri/post-partum</i>	76
5.2.5.	Influence du déficit énergétique et de la note d'état corporel.....	77
5.2.5.1.	Influence de la note d'état corporel	77
5.2.5.1.1.	Influence de la note d'état corporel avant protocole	77
5.2.5.1.2.	Influence de la chute de note d'état corporel après vêlage.....	78
5.2.5.2.	Influence des β -hydroxybutyrates <i>post-partum</i>	78
5.2.5.3.	Influence de la variation de production avant le pic de lactation	79
5.2.5.4.	Influence du taux protéique du lait.....	79
5.2.5.4.1.	Influence du taux protéique entre 0 et 30 jours en lait	79
5.2.5.4.2.	Influence du taux protéique entre 30 et 60 jours en lait	80
5.2.5.4.3.	Influence du taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole ...	80
5.2.5.4.4.	Influence du taux protéique minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation.....	81
5.2.5.4.5.	Influence du taux protéique maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation.....	81
5.2.5.4.6.	Discussion autour de l'influence du taux protéique du lait	82
5.2.5.5.	Influence du rapport taux butyreux/taux protéique.....	83
5.2.5.5.1.	Influence du rapport taux butyreux/taux protéique entre 0 et 30 jours en lait	83
5.2.5.5.2.	Influence du rapport taux butyreux/taux protéique entre 30 et 60 jours en lait.....	83
5.2.5.5.3.	Influence du rapport taux butyreux/taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole	83
5.2.5.5.4.	Discussion autour de l'influence du rapport taux butyreux/taux protéique.....	83
5.2.5.6.	Influence du taux butyreux du lait	84
5.2.5.6.1.	Influence du taux butyreux entre 0 et 30 jours en lait.....	84
5.2.5.6.2.	Influence du taux butyreux entre 30 et 60 jours en lait.....	84
5.2.5.6.3.	Influence du taux butyreux lors du dernier contrôle laitier avant protocole	85

5.2.5.6.4.	Influence du taux butyreux minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation.....	86
5.2.5.6.5.	Influence du taux butyreux maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation.....	86
5.2.5.6.6.	Discussion autour de l'influence du taux butyreux du lait	86
5.2.6.	Influence du taux d'urée lors du dernier contrôle laitier avant protocole	86
5.2.7.	Influence de la saison d'insémination.....	87
5.2.8.	Influence de l'intervalle vêlage-insémination animale	90
5.2.9.	Influence des modalités d'application du protocole.....	90
5.2.9.1.	Influence du délai prescription-début de protocole	90
5.2.9.2.	Influence du protocole.....	91
5.2.10.	Influence de l'activité ovarienne à la prescription du protocole et moment du cycle à l'initiation de l'Ovsynch	92
5.2.10.1.	Influence de la présence d'un corps jaune lors de la prescription	92
5.2.10.2.	Influence d'un follicule dominant lors de la prescription.....	92
5.2.10.3.	Influence du délai prescription-début de protocole en absence d'un corps jaune au moment de la prescription	92
5.2.11.	Influence de l'élevage	93
5.2.12.	Influence du rang d'insémination animale	94
5.3.	Conclusion des différentes analyses univariées.....	94
	Conclusion.....	95
	Bibliographie	97
	Annexes.....	103

Table des annexes

Annexe 1 : Présentation des résultats de l'analyse statistique univariée pour les lots J0 et CUMUL.....	103
Annexe 2 : Présentation des résultats de l'analyse statistique univariée pour le lot J-1/J-2.....	109

Table des figures

Figure 1 : L'hypothalamus, l'hypophyse et leurs connexions (Source : BALL & PETERS, 2004).....	25
Figure 2 : Vue dorsale de l'appareil génital de la vache (Source : BALL & PETERS, 2004). Le vagin et la corne utérine droite sont ouvertes.	26
Figure 3 : Coupe longitudinale d'un ovaire (Source : BALL & PETERS, 2004)	27
Figure 4 : Etapes du développement folliculaire (Source : ROTH, 2017)	28
Figure 5 : Présentation schématique des profils de sécrétion de FSH, LH et progestérone ; et profil de la croissance folliculaire au cours du cycle œstral de la vache (Source : FORDE et al., 2011)	31
Figure 6 : Modèle schématique des interactions entre les cellules de la thèque et de la granulosa du futur follicule dominant au moment de la sélection (Source : GINTHER et al., 2001)	34
Figure 7 : Modèle schématique de la reprise de l'activité ovarienne post-partum (Source : FABRE Axel)	36
Figure 8 : Protocole Ovsynch et mécanismes d'action (Source : FABRE Axel)	39
Figure 9 : Protocole Cosynch (Source : FABRE Axel)	41
Figure 10 : Protocole « GPPG » (Source : FABRE Axel)	42
Figure 11 : Protocole Ovsynch avec dispositif libérant de la progestérone en continu (Source : FABRE Axel)	42
Figure 12 : Les deux situations du protocole Resynch (Source : FABRE Axel)	43
Figure 13 : Protocole 5-day Ovsynch (Source : FABRE Axel)	43
Figure 14 : Protocole Presynch suivi d'un protocole Ovsynch (Source : FABRE Axel)	44
Figure 15 : Schéma explicatif de la relation entre l'intervalle Presynch et les jours du cycle œstral au début de l'Ovsynch (d'après STEVENSON, 2016)	45
Figure 16 : Protocole Double-Ovsynch (Source : FABRE Axel)	45
Figure 17 : Protocole « G6G » (Source : FABRE Axel)	46
Figure 18 : Modèle pour la relation entre déficit énergétique et la sécrétion de gonadotropines chez les vaches laitières en post-partum (Source : BUTLER et SMITH, 1989)	48
Figure 19 : Influence du moment de l'insémination animale après l'œstrus sur le taux de conception (Source : DALTON et al., 2010)	54
Figure 20 : Effectifs des élevages de l'étude	68
Figure 21 : Représentation graphique des rangs de lactation de la population étudiée	68
Figure 22 : Représentation graphique de la production laitière au pic de lactation de la population étudiée	69
Figure 23 : Représentation graphique du taux protéique et du taux butyreux au pic de lactation de la population étudiée	69
Figure 24 : Effectifs inséminés en fonction de la saison d'insémination.....	70
Figure 25 : Représentation graphique du jour en lait à l'insémination animale suite au protocole Ovsynch de la population étudiée	71

Figure 26 : Représentation graphique du délai prescription-début de protocole de la population étudiée	71
Figure 27 : Taux de conception en fonction du rang de lactation	73
Figure 28 : Taux de conception en fonction de la parité	73
Figure 29 : Taux de conception en fonction de la production laitière au dernier contrôle laitier avant protocole.....	74
Figure 30 : Taux de conception en fonction du maximum de production laitière autour du pic de lactation	75
Figure 31 : Taux de conception en fonction du score vaginal.....	76
Figure 32 : Taux de conception en fonction de la note d'état corporel avant protocole	77
Figure 33 : Taux de conception en fonction de la chute de note d'état corporel après vêlage	78
Figure 34 : Taux de conception en fonction du taux protéique enregistré sur le premier mois de lactation	79
Figure 35 : Taux de conception en fonction du taux protéique enregistré sur le deuxième mois de lactation	80
Figure 36 : Taux de conception en fonction du taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole.....	80
Figure 37 : Taux de conception en fonction du taux protéique minimal enregistré sur les 3-4 premiers mois de lactation.....	81
Figure 38 : Taux de conception en fonction du taux protéique maximal enregistré sur les 3-4 premiers mois de lactation.....	81
Figure 39 : Taux de conception en fonction du taux protéique maximal enregistré sur les 3-4 premiers mois de lactation (seuil à 33g/kg).....	82
Figure 40 : Taux de conception en fonction du taux butyreux entre 0 et 30 jours en lait	84
Figure 41 : Taux de conception en fonction du taux butyreux entre 30 et 60 jours en lait	85
Figure 42 : Taux de conception en fonction du taux butyreux lors du dernier contrôle laitier avant protocole.....	85
Figure 43 : Taux de conception en fonction du taux butyreux maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation	86
Figure 44 : Taux de conception en fonction du taux d'urée lors du dernier contrôle laitier avant protocole.....	87
Figure 45 : Taux de conception en fonction de la saison d'insémination	87
Figure 46 : Taux de conception en fonction de la saison d'insémination (été versus autres saisons) ..	88
Figure 47 : Taux de conception en fonction de la saison d'insémination (saison par année)	88
Figure 48 : Taux de conception en fonction de la saison d'insémination dans le lot J-1/J-2.....	89
Figure 49 : Taux de conception en fonction de l'intervalle vêlage-insémination animale	90
Figure 50 : Taux de conception en fonction du délai prescription-début de protocole.....	91
Figure 51 : Taux de conception en fonction de l'élevage	93

Table des tableaux

Tableau I : Avantages et inconvénients du protocole Ovsynch	41
Tableau II : Paramètres associés aux facteurs retenus pour l'étude	58
Tableau III : Classes de la variable « rang de lactation ».....	59
Tableau IV : Classes des variables associées à la production laitière.....	60
Tableau V : Classes de la variable « score vaginal ».....	60
Tableau VI : Classes de la variable « affection péri/post-partum »	61
Tableau VII : Classes des variables associées à la note d'état corporel	61
Tableau VIII : Classes de la variable « β -hydroxybutyrates en début de lactation »	62
Tableau IX : Classes de la variable « variation de production avant le pic de lactation »	62
Tableau X : Classes des variables associées au taux protéique.....	63
Tableau XI : Classes des variables associées au rapport taux butyreux/taux protéique	63
Tableau XII : Classes des variables associées au taux butyreux	64
Tableau XIII : Classes de la variable « urée lors du dernier contrôle laitier avant protocole »	64
Tableau XIV : Classes de la variable « saison au moment de l'insémination animale »	65
Tableau XV : Classes de la variable « jours en lait au moment de l'insémination animale »	65
Tableau XVI : Classes des variables associées aux modalités d'application du protocole Ovsynch	66
Tableau XVII : Classes des variables associées aux organites ovariens et au moment du cycle ovarien lors de l'initiation du protocole Ovsynch	67
Tableau XVIII : Classes de la variable « rang de l'insémination animale »	67

Liste des abréviations

ARNm : Acide ribonucléique messenger

BHB : β -hydroxybutyrates

CFA : Compte des follicules antraux

CL : Contrôle laitier

E2 : Œstradiol-17 β

FSH : Hormone folliculo-stimulante

GnRH : Gonadotropin-Releasing Hormone

IA : Insémination animale

IA₁ : 1^{ère} insémination

IGF : Insulin-like Growth Factor

IGFBP : Insulin-like Growth Factor Binding Protein

IVIA₁ : Intervalle vêlage–1^{ère} insémination

JEL : Jour en lait

LH : Hormone lutéinisante

NEC : Note d'état corporel

P4 : Progestérone

PGF2 α : Prostaglandine F2 α

TB : Taux butyreux

TP : Taux protéique

TRIA₁ : Taux de réussite à la 1^{ère} insémination

Introduction

Depuis de nombreuses années, les filières de l'agriculture et de l'élevage font face à une constante évolution, en réponse à la demande croissante des consommateurs. C'est notamment le cas de la filière lait à qui l'on demande une production laitière toujours plus grande.

Pour être rentable, la dynamique actuelle repose sur l'augmentation du nombre de vaches par élevage (avec la disparition des petits élevages familiaux) ainsi que la hausse du potentiel génétique des animaux pour accroître la production laitière quotidienne par tête. Un autre facteur clé pour la rentabilité de l'élevage est la bonne gestion de la reproduction au sein du troupeau. En effet, l'objectif est d'avoir une période non productive par vache la plus courte possible en visant un veau par vache par an. Malheureusement, la recherche d'une meilleure performance laitière a eu des répercussions négatives sur la reproduction du cheptel laitier avec une baisse de la fertilité et une manifestation des chaleurs moins prononcée.

Pour pallier ce manque de fertilité et faciliter le travail de l'éleveur, des protocoles hormonaux ont été développés. Ils utilisent des hormones de synthèse dont l'activité est similaire à leurs homologues naturels et qui vont agir sur l'activité ovarienne. Grâce à la recherche et à une meilleure compréhension du cycle sexuel de la vache (les hormones en jeu, leurs rôles, les moments du cycle où elles agissent), les protocoles sont améliorés. Cela a permis notamment de passer de protocoles assurant une synchronisation des chaleurs à des protocoles où l'insémination animale (IA) est programmée à une date précise. Parmi ces protocoles, l'Ovsynch (ou protocole « GPG ») et ses variantes sont certainement les protocoles qui sont les plus utilisés en France.

Bien qu'ils se révèlent être un atout majeur pour les éleveurs, l'application de ces protocoles en association avec de bonnes conditions d'élevage est indispensable pour optimiser les performances de reproduction. C'est ainsi que de nombreux facteurs vont influencer la réussite à l'IA. Outre la génétique, la gestion de la nutrition et de la santé des animaux est primordiale. C'est là que le vétérinaire entre en jeu avec la mise en place de suivi de reproduction, tout en gardant une vision globale de la gestion de l'élevage afin d'optimiser les performances de l'élevage dans ce domaine.

L'objectif de cette étude est d'évaluer, à partir de données de terrain, l'influence de divers facteurs sur la fertilité des vaches laitières ayant eu un protocole « GPG » dans le cadre d'un suivi de reproduction. Préalablement à ce travail, nous reverrons dans un premier temps quelques points concernant la physiologie de la reproduction de la vache, puis, dans un second temps, nous présenterons le protocole « GPG » et ses variantes, avant de terminer par la présentation de facteurs influençant la fertilité chez les vaches laitières.

Première partie : étude bibliographique

1. Physiologie de la reproduction de la vache

1.1. Anatomie de l'appareil reproducteur (BALL & PETERS, 2004)

1.1.1. L'hypothalamus

Localisé à la base du tronc cérébral, l'hypothalamus est une structure composée de cellules nerveuses dont l'activité endocrinienne et nerveuse assure le contrôle de divers processus physiologiques. Son activité est elle-même régulée par de nombreuses connexions nerveuses provenant du cerveau.

Dans le cas de l'activité ovarienne, la partie de l'hypothalamus mise en jeu est l'hypothalamus intermédiaire. Il est en relation avec l'adénohypophyse dont il régule l'activité en sécrétant différentes hormones, dont en particulier la Gonadotropin-Releasing Hormone (aussi appelée gonadolibérine ou GnRH).

1.1.2. L'hypophyse

L'hypophyse est localisée sous l'hypothalamus et divisée en deux parties : la neurohypophyse (ou posthypophyse) et l'adénohypophyse (ou antéhypophyse). Cette dernière synthétise et sécrète ses hormones en réponse à d'autres signaux hormonaux provenant de l'hypothalamus et circulant à partir de la veine porte hypothalamo-hypophysaire. Cette connexion entre les deux organes est représentée dans la Figure 1 ci-dessous.

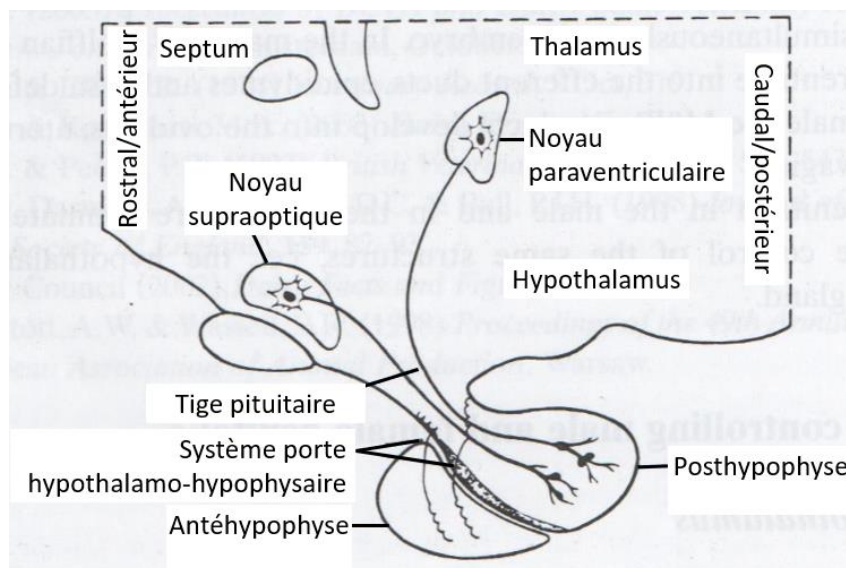


Figure 1 : L'hypothalamus, l'hypophyse et leurs connexions (Source : BALL & PETERS, 2004)

Parmi les hormones synthétisées, on retrouve l'hormone lutéinisante et l'hormone folliculo-stimulante (aussi appelées respectivement LH et FSH) qui jouent un rôle majeur dans le contrôle de la fonction ovarienne.

1.1.3. La vulve et le vagin

La vulve est la partie externe du tractus génital femelle. Elle permet l'entrée du pénis du mâle et l'expulsion du veau lors du vêlage. Il s'agit également chez la vache du point de sortie de l'urine.

Le vagin s'étend de la vulve au cervix. Sa longueur dépend du stade physiologique de la vache, notamment si elle est gravide. Sa paroi est dure et élastique. Son épithélium change au cours du cycle sexuel de la vache : les cellules à proximité du cervix produisent du mucus en grande quantité au moment de l'œstrus.

1.1.4. L'utérus

L'utérus est un organe musculéux décomposable en 3 parties : le col (ou cervix), le corps et les cornes. Ces éléments anatomiques sont représentés dans la Figure 2 ci-dessous.

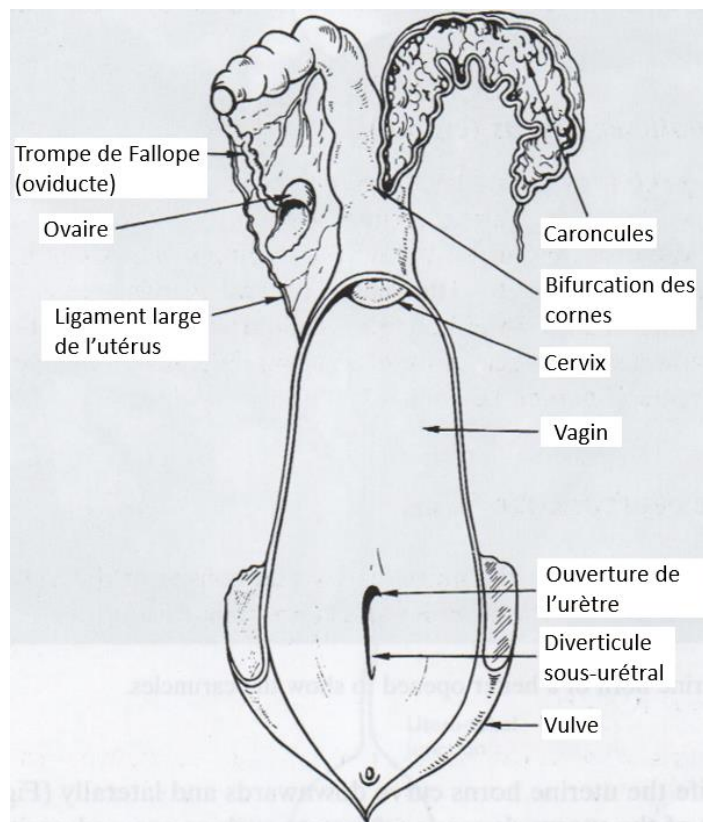


Figure 2 : Vue dorsale de l'appareil génital de la vache (Source : BALL & PETERS, 2004). Le vagin et la corne utérine droite sont ouvertes.

Le cervix forme une barrière entre le vagin et l'utérus. Sa longueur varie en fonction de l'âge de l'animal (2-3cm chez la génisse et jusqu'à 10cm chez la vache mature). Sa paroi est épaisse et fibreuse. Sa lumière est en général close sauf lors de l'œstrus et de la parturition. Elle est notamment obstruée par un « bouchon muqueux » au cours de la gestation pour assurer la stérilité de l'utérus et de l'environnement du fœtus.

Le corps de l'utérus, d'environ 5 cm de long, et les deux cornes, mesurant entre 20 et 40 cm, forment un « Y ». L'utérus est suspendu dans la cavité pelvienne par le ligament large qui porte également les vaisseaux et les nerfs. Sa taille varie en fonction de l'âge, de la parité mais aussi du stade de la gestation. Sa paroi a une épaisseur variant de 3 à 10 mm et est organisée en 3 couches (de l'intérieur vers l'extérieur) : endomètre, myomètre et séreuse. L'endomètre a un rôle important dans la fonction de reproduction *via* sa production de mucus, de prostaglandine F_{2α} (PGF_{2α}) et la présence de caroncules qui serviront d'ancrage au placenta lors de la gestation.

Au bout de la corne utérine se trouve l'oviducte, faisant la jonction avec l'ovaire. Il s'agit du lieu de rencontre entre ovocyte et spermatozoïdes.

1.1.5. Les ovaires

Chacun des ovaires est suspendu au bout de son oviducte correspondant, auquel il est rattaché par le ligament ovarien. Ils sont de forme ovale, lisses et de couleur blanc nacré. Ils font 1,5 à 5 cm de long pour 1 à 3 cm de large. Leur taille varie significativement en fonction du moment du cycle et de l'âge.

On peut décomposer l'ovaire en deux parties : la zone médullaire, recevant la vascularisation, et la zone corticale, siège de l'ovogenèse et de la folliculogénèse. Cette organisation interne de l'ovaire est présentée ci-dessous dans la Figure 3. Une fois que l'ovulation a eu lieu, la zone corticale peut également contenir un ou plusieurs corps jaunes.

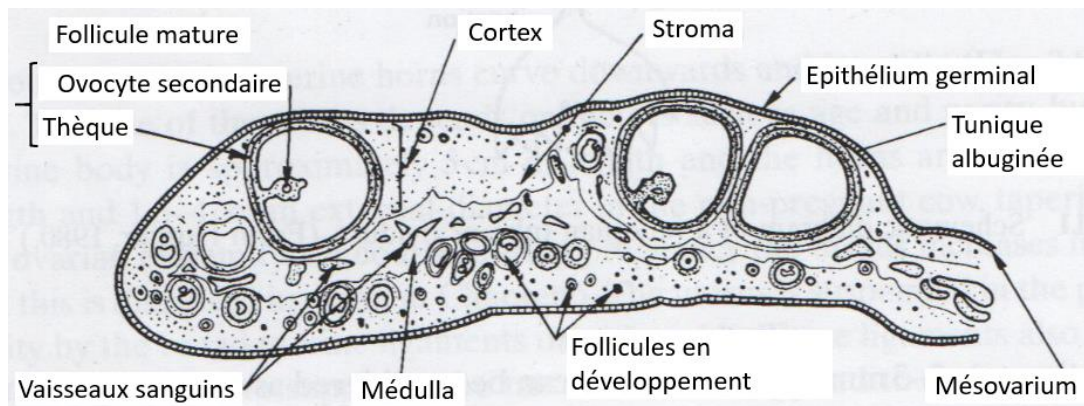


Figure 3 : Coupe longitudinale d'un ovaire (Source : BALL & PETERS, 2004)

1.2. Le cycle ovarien

1.2.1. Généralités

Le cycle ovarien chez la vache dure de 18 à 24 jours, avec une moyenne de 21 jours (NOAKES, 1997). Ce cycle est organisé en deux périodes : une phase folliculaire d'une durée de 4 à 6 jours et une phase lutéale de 14 à 18 jours. La phase folliculaire correspond à la croissance terminale des follicules jusqu'à l'ovulation du follicule dominant. S'en suit la phase lutéale qui se résume à la formation et au maintien du corps jaune (FORDE, et al., 2011).

Les cycles débutent à la puberté, quand l'animal a entre 6 et 12 mois. La puberté est généralement atteinte quand la génisse atteint un poids de 200-250 kg (FORDE, et al., 2011). Ainsi, on observe une absence de cyclicité ovarienne avant la puberté mais également pendant la gestation et pendant une courte période *post-partum* (NOAKES, 1997).

1.2.2. La croissance folliculaire

1.2.2.1. La folliculogenèse : du follicule primordial au follicule de De Graff

La réserve initiale de follicules est produite au cours de la vie fœtale de la vache (EVANS, et al., 2012). Ainsi, à la naissance, un individu possède un nombre fini de follicules primordiaux (environ 150 000 unités). Ces derniers mesurent 100 μm de diamètre (NOAKES, 1997) et possèdent chacun en leur sein un ovocyte. Ce dernier est entouré d'une unique couche de cellules de la granulosa et son matériel génétique est arrêté en prophase de première division méiotique (ROTH, 2017).

Des cohortes de follicules primordiaux sont recrutées pour entrer en croissance. Ce processus de développement et de maturation va permettre de passer d'un follicule primordial à un follicule pré-ovulatoire sur une période de 4 à 6 mois (EVANS, et al., 2012). Dans un premier temps, une phase gonadotrophine-indépendante permet le développement du follicule primordial jusqu'au stade de follicule secondaire via l'action de facteurs de croissance. Ensuite, une phase gonadotrophine-sensible se met en place, durant laquelle les cellules de la granulosa et de la thèque du follicule vont exprimer respectivement des récepteurs à la FSH et la LH. Le follicule évolue alors jusqu'au stade de follicule antral, mesurant 0,4 à 0,8 mm de diamètre (NOAKES, 1997). Enfin, au cours d'une phase gonadotrophine-dépendante, sous la stimulation des hormones hypophysaires (FSH et LH), le follicule évolue jusqu'au stade pré-ovulatoire pour donner un follicule de De Graff d'environ 15 à 20 mm de diamètre (ROTH, 2017). Il est alors organisé de la manière suivante (de l'extérieur vers l'intérieur) : thèque externe et thèque interne vascularisées, granulosa non vascularisée et antrum avec ovocyte et fluide intra-folliculaire (RATHBONE, et al., 2001).

L'ensemble des étapes de la folliculogenèse est représenté dans la Figure 4 ci-contre.

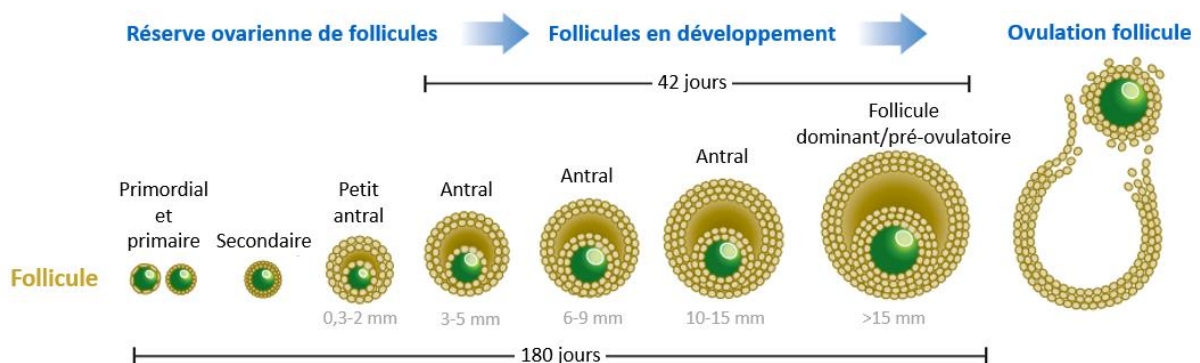


Figure 4 : Etapes du développement folliculaire (Source : ROTH, 2017)

1.2.2.2. La phase gonadotrophine-dépendante : un cheminement en plusieurs étapes

La phase gonadotrophine-indépendante est encore relativement mal connue. Nous allons donc nous intéresser à la phase gonadotrophine-dépendante du développement folliculaire. Cette dernière est découpée en plusieurs étapes : le recrutement, la sélection et la dominance (THATCHER, 2017).

1.2.2.2.1. Le recrutement

En début de chaque période de croissance folliculaire, une cohorte de follicules antraux entre en développement. On parle aussi de « vague folliculaire » et celle-ci comprend 5 à 20 follicules. Cette émergence a lieu à la suite de la stimulation exercée par une augmentation transitoire de FSH qui se lie à des récepteurs au niveau des cellules de la granulosa (FORDE, et al., 2011). Après avoir atteint son pic de concentration, la FSH décline pendant plusieurs jours tandis que les follicules croissent jusqu'à une taille comprise entre 4 et 8,5 mm de diamètre (DISKIN, et al., 2002).

1.2.2.2.2. La sélection

Trois à 4 jours avant la fin de la vague ou l'ovulation (NOAKES, 1997), un follicule parmi la cohorte est « sélectionné » et continue sa croissance. Il est alors le seul en capacité de se développer malgré une concentration en FSH basse et est également le seul capable d'ovuler : il s'agit du follicule dominant. En parallèle, une élévation transitoire de la LH survient (GINTHER, et al., 2001). Or, au cours du processus de sélection, un changement dans la croissance du follicule dominant intervient : sa croissance devient dépendante de la LH et non de la FSH. En effet, ce seul follicule exprime les acides ribonucléiques messagers (ARNm) nécessaires à la production de récepteurs à LH au niveau des cellules de la granulosa et de la thèque interne, permettant la suite de son développement sous l'impulsion de la LH (DISKIN, et al., 2002).

La sélection du follicule dominant a lieu quand celui-ci atteint environ 8,5 mm de diamètre (MIHM & AUSTIN, 2002). Or, le plus grand follicule de la cohorte établit sa dominance avant que le second plus grand follicule n'atteigne le même diamètre (GINTHER, et al., 2001). Ainsi, d'après Ginther et al., le follicule qui atteint 8mm chez les génisses devient le follicule dominant dans 90% des cas (GINTHER, et al., 2001).

1.2.2.2.3. La dominance et l'ovulation

Le follicule dominant continue de croître à la même vitesse tandis que les autres follicules de la cohorte, « subordonnés », régressent du fait de la concentration basse en FSH (GINTHER, et al., 2001). Au terme de son développement et en l'absence d'un corps jaune, le follicule dominant ovule. L'ovulation est précédée, 24 à 32h avant, d'une augmentation ponctuelle en LH dans le sang. Ce pic pré-ovulatoire de LH active une réaction inflammatoire à l'origine de la rupture de la paroi du follicule (BALL & PETERS, 2004) et l'externalisation de l'ovocyte. Le follicule de De Graff mesure alors en général 20 mm de diamètre (NOAKES, 1997).

La sélection et la dominance sont deux évènements incontournables au cours de la folliculogénèse. Ils sont indispensables pour prévenir la croissance des autres follicules de la cohorte qui pourraient devenir dominants sans cela (GINTHER, et al., 2001) et permettent ainsi d'assurer, la plupart du temps, une unique ovulation par cycle chez la plupart des vaches (la survie du veau est meilleure en l'absence de jumeaux) (BALL & PETERS, 2004).

1.2.2.3. La particularité de la croissance folliculaire au cours de la phase lutéale

Une vague folliculaire a une durée de vie allant de 7 à 10 jours (DISKIN, et al., 2002). Ainsi, au cours du cycle ovarien, 2 à 3 vagues folliculaires se succèdent, avec, à chaque fois, un follicule sélectionné pour être dominant (EVANS, et al., 1997). Cependant, tous les vagues ne se terminent pas par l'ovulation du follicule dominant (FORDE, et al., 2011). En effet, au cours de la phase lutéale, le follicule dominant de chaque vague folliculaire s'atrophie sans avoir ovulé du fait d'une plus faible concentration et fréquence pulsatile de LH (RATHBONE, et al., 2001).

1.2.3. Le corps jaune

1.2.3.1. Formation, développement et maintien

La décharge pré-ovulatoire de LH induit la lutéinisation des cellules du follicule de De Graaf : c'est le début de la phase lutéale et de la formation du corps jaune. Cette phase est caractérisée par la croissance et la différenciation des cellules de la thèque interne et de la granulosa respectivement en petites et grandes cellules lutéales (THATCHER, 2017). Ceci est permis par le rôle lutéotrophique de la LH (SMITH, 1986).

Tout ce processus est possible grâce à la néo-vascularisation du tissu lutéal. En effet, dans les heures qui suivent l'ovulation, de nombreux capillaires sanguins envahissent la granulosa. Ce réseau de petits vaisseaux n'est complet qu'au bout de 9 jours post-œstrus et permet au corps jaune de recevoir la majorité du flux sanguin ovarien. Cette circulation sanguine est indispensable pour recevoir les hormones nécessaires à son développement et sécréter de façon pulsatile dans le système circulatoire la progestérone (P4) que produisent ses cellules (SMITH, 1986).

Les deux types de cellules lutéales diffèrent par leur sensibilité aux différentes hormones et leur niveau de production en P4. Les petites cellules lutéales sont six fois plus sensibles à la LH que les grandes cellules lutéales (ALILA & HANSEL, 1984) et sécrètent un niveau basal de P4 via les stimuli de LH (AROSH, et al., 2016). Au contraire, les grandes cellules lutéales sécrètent vingt fois plus de P4 (SMITH, 1986) sans être stimulées par la LH et sont plus sensibles aux prostaglandines (ALILA & HANSEL, 1984). A noter que les petites cellules lutéales représentent 90% de la population cellulaire du corps jaune (BALL & PETERS, 2004).

1.2.3.2. La lutéolyse

La fonction du corps jaune est de produire assez de P4 durant la phase lutéale pour permettre le maintien de la gestation en cas de fécondation (FORDE, et al., 2011). En l'absence de gestation, la lutéolyse, c'est-à-dire la régression du corps jaune, a lieu à partir de 16-17 jours après ovulation (RATHBONE, et al., 2001). La lutéolyse est alors médiée par l'utérus, via l'action conjointe de l'ocytocine, produite par le corps jaune, et de la PGF2 α , produite par l'endomètre. Leur action lutéolytique déclenche la dégénérescence des cellules lutéales et la production de P4 par le corps jaune chute à un niveau basal (THATCHER, 2017).

En cas de gestation, le déroulement est tout autre. En se fixant à la paroi de l'utérus, le trophoblaste du conceptus sécrète un médiateur : l'interféron tau. Ce facteur inhibe alors la sécrétion pulsatile de PGF2 α et stimule la sécrétion de prostaglandines E2 (hormone lutéotrophique) par l'endomètre, assurant le maintien du corps jaune (AROSH, et al., 2016). C'est la reconnaissance maternelle de la gestation.

1.3. Les régulations hormonales au cours du cycle ovarien

Tout au long du cycle ovarien, les concentrations sanguines de nombreuses hormones fluctuent. Ces fluctuations contrôlent la physiologie de l'ovaire et du tractus génital. La régulation des concentrations hormonales passe par des boucles de rétrocontrôles positifs et négatifs qui se mettent en place lorsque certaines hormones atteignent des valeurs seuils (RATHBONE, et al., 2001). Ces rétrocontrôles agissent sur le nombre et le type de récepteurs présents au niveau des cellules des organites (follicules ou corps jaunes). Ceci explique comment ces organites répondent différemment aux mêmes stimuli hormonaux selon les stades de développement (FORTUNE, et al., 2004).

Un schéma général du cycle œstral (cycle de 21 jours qui se superpose au cycle ovarien et qui débute au moment de l'œstrus) et de l'évolution des principales hormones au cours du cycle est présenté ci-dessous dans la Figure 5.

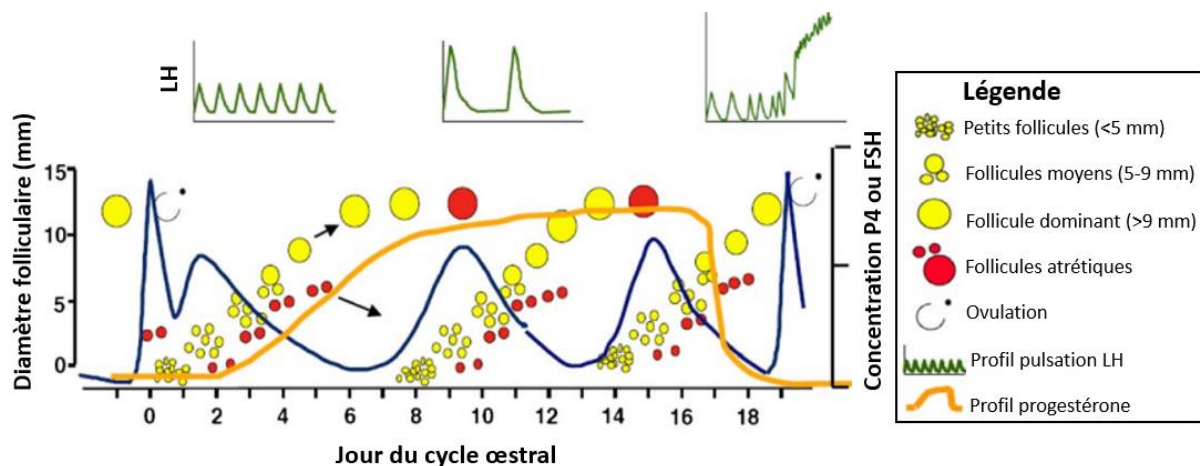


Figure 5 : Présentation schématique des profils de sécrétion de FSH, LH et progestérone ; et profil de la croissance folliculaire au cours du cycle œstral de la vache (Source : FORDE et al., 2011)

1.3.1. Les hormones en jeu

Le cycle ovarien est régulé via diverses hormones provenant de différents organes : hypothalamus (GnRH), antéhypophyse (FSH et LH), ovaires (œstradiol-17 β (E2), inhibine, P4), utérus (PGF2 α).

1.3.1.1. Les hormones hypothalamo-hypophysaires

1.3.1.1.1. La GnRH

La GnRH est un peptide de 10 acides aminés (BALL & PETERS, 2004) produit par les cellules de l'hypothalamus. Elle est sécrétée directement dans le sang où elle circule jusqu'à atteindre l'antéhypophyse. En se fixant à ses récepteurs cellulaires, la GnRH induit la sécrétion de FSH et LH par les cellules hypophysaires (THATCHER, 2017).

La sécrétion de la GnRH est pulsatile. Cela permet d'éviter la désensibilisation de ses récepteurs au niveau de l'antéhypophyse (FORDE, et al., 2011).

1.3.1.1.2. La FSH et la LH

La FSH et la LH sont des glycoprotéines composées d'une sous-unité α et d'une sous-unité β (BALL & PETERS, 2004). Elles sont produites et sécrétées de façon pulsatile par les cellules de l'antéhypophyse (STUMPF, et al., 1989). Une fois libérée dans le torrent circulatoire, elles atteignent les ovaires où elles interviennent à différent moment du cycle ovarien.

La FSH joue le rôle d'initiateur de l'activité ovarienne en promouvant la croissance des follicules et leur production d'E2 avant le processus de sélection (BALL & PETERS, 2004).

La LH stimule la maturation du follicule dominant à partir de la sélection et déclenche l'ovulation. Secondairement, elle a un rôle lutéotrophique en stimulant la lutéinisation des cellules du follicule de De Graff et en assurant le maintien du corps jaune (BALL & PETERS, 2004).

1.3.1.2. Les hormones ovariennes et utérines

1.3.1.2.1. L'œstradiol-17 β (BALL & PETERS, 2004)

L'E2 est une hormone produite et sécrétée par les cellules folliculaires, qui possède plusieurs rôles. Parmi ses rôles principaux, il est possible de citer son rétrocontrôle négatif sur la FSH ainsi que l'initiation du comportement d'œstrus et le déclenchement du pic de LH responsable de l'ovulation quand sa concentration sanguine atteint un certain seuil.

1.3.1.2.2. L'inhibine

L'inhibine est produite par les follicules sous la stimulation de la FSH (MIHM & AUSTIN, 2002). Elle intervient essentiellement au cours de la phase folliculaire du cycle ovarien en abaissant la sécrétion de FSH par l'antéhypophyse jusqu'à un niveau basal (FORDE, et al., 2011). Sa production par le follicule dominant est également à l'origine de l'atrésie des autres follicules de la cohorte en limitant la sensibilité à la FSH de ces derniers (BALL & PETERS, 2004).

1.3.1.2.3. Les Insulin-like Growth Factor (IGF) 1 et 2 (GINTHER, et al., 2001).

Les IGF sont des hormones de croissance produites par les cellules folliculaires. Elles peuvent également être prélevées directement dans le sang par les cellules et leur délocalisation dans le fluide intra-folliculaire est stimulée par la LH.

Leur activité autocrine se manifeste par une hausse de la croissance cellulaire, une stimulation de la production d'E2 en synergie avec la LH et une augmentation de la sensibilité des cellules de la granulosa à la FSH. Ces hormones jouent ainsi un rôle notable dans le développement du follicule dominant.

1.3.1.2.4. La progestérone

La P4 est une hormone produite et sécrétée de façon pulsatile par les cellules lutéales (majoritairement les grandes cellules lutéales) (SMITH, 1986). Elle intervient au cours de la phase lutéale du cycle ovarien mais également au cours de la gestation. En effet, sa fonction principale est d'assurer le maintien d'une potentielle gestation (FORDE, et al., 2011). Elle inhibe ainsi la sécrétion des gonadotropines, soit indirectement en régulant la sécrétion de GnRH par l'hypothalamus, soit directement en modulant la réponse de l'antéhypophyse à la GnRH (STEVENSON & PULLEY, 2016). Par ce mécanisme, la P4 prévient aussi l'expression d'un comportement d'œstrus par l'animal (FORDE, et al., 2011).

1.3.1.2.5. La prostaglandine F2 α

La PGF2 α fait partie des eicosanoïdes dont le précurseur principal est l'acide arachidonique (AROSH, et al., 2016). Elle est produite et sécrétée de façon pulsatile par les cellules de l'endomètre (THATCHER, 2017), mais aussi en faible quantité par le corps jaune (AROSH, et al., 2016). Elle intervient à la fin de la phase lutéale en stimulant la lutéolyse du corps jaune. Son action lutéolytique est aussi bien fonctionnelle (arrêt de la production de P4 par le corps jaune) que structurale (apoptose des cellules lutéales) (THATCHER, 2017).

1.3.2. Un système complexe et bien organisé

1.3.2.1. Les régulations hormonales lors de la phase folliculaire

En début de cycle ovarien, une augmentation transitoire de la sécrétion de FSH stimule l'émergence d'une vague folliculaire. En effet, en se liant à ses récepteurs au niveau des cellules de la granulosa, le complexe FSH-récepteur envoie un signal pour stimuler la croissance et la prolifération cellulaire et l'activité de l'aromatase pour la production d'E2 (FORDE, et al., 2011).

Les follicules en développement assurent une sécrétion croissante en inhibine et E2. Ces hormones exercent un rétrocontrôle négatif sur la FSH en inhibant sa synthèse et sa sécrétion, bien que les follicules en aient besoin pour leur croissance. La concentration sanguine en FSH décroît ainsi jusqu'à un niveau basal au moment de la sélection (GINTHER, et al., 2001). En parallèle, l'E2 augmente la sensibilité de l'antéhypophyse à la GnRH en stimulant la multiplication des récepteurs à la GnRH sur la membrane des cellules hypophysaires (STUMPF, et al., 1989). L'E2 exerce également un rétrocontrôle positif sur la sécrétion de GnRH (STEVENSON & PULLEY, 2016), ayant pour effet une hausse de l'amplitude de la sécrétion de LH (STUMPF, et al., 1989).

Au moment de la sélection, on constate une augmentation des ARNm codant pour les récepteurs à LH dans les cellules de la granulosa et de la thèque du follicule dominant. Il passe alors d'une FSH-dépendance à une LH-dépendance pour sa croissance et sa sécrétion d'E2. La LH va notamment stimuler la sécrétion d'IGF-1 par le follicule dominant. Son activité autocrine assure la croissance cellulaire, la stimulation de la production d'E2 et augmente la sensibilité des cellules de la granulosa à la FSH, permettant au follicule dominant d'optimiser l'utilisation de la FSH malgré sa faible concentration dans l'environnement cellulaire (GINTHER, et al., 2001). La biodisponibilité en IGF-1 a ainsi un rôle essentiel dans les derniers stades du développement folliculaire, notamment au cours du processus de sélection et dans le maintien du follicule dominant (FORTUNE, et al., 2004). Or, la forme libre de l'IGF-1 est présente en plus grande quantité au sein du follicule dominant comparé aux autres follicules (MIHM & AUSTIN, 2002). Cela s'explique, outre l'augmentation de sécrétion, via les interactions entre les IGF, les Insulin-like Growth Factor Binding Protein (aussi appelée IGFBP et ayant un effet inhibiteur en empêchant la liaison des IGF avec leur récepteur) et les IGFBP protéases (clivent les IGFBP et augmentent la quantité d'IGF libre). En effet, alors que la concentration en IGFBP est basse dans le fluide intra-folliculaire au début de la croissance folliculaire, cette concentration augmente au sein des plus petits follicules au moment de la sélection tandis que celle du follicule dominant reste basse. En parallèle, l'activité protéolytique de l'IGFBP protéase est plus intense au sein du follicule dominant, expliquant ce niveau bas en IGFBP. De plus, l'IGF libre stimulerait la synthèse d'IGFBP protéases, accélérant le phénomène (MIHM & AUSTIN, 2002). L'acquisition de cette activité protéolytique est ainsi une caractéristique importante du follicule dominant (FORTUNE, et al., 2004). Un résumé des interactions au sein du futur follicule dominant au cours de la sélection est présenté ci-contre dans la Figure 6.

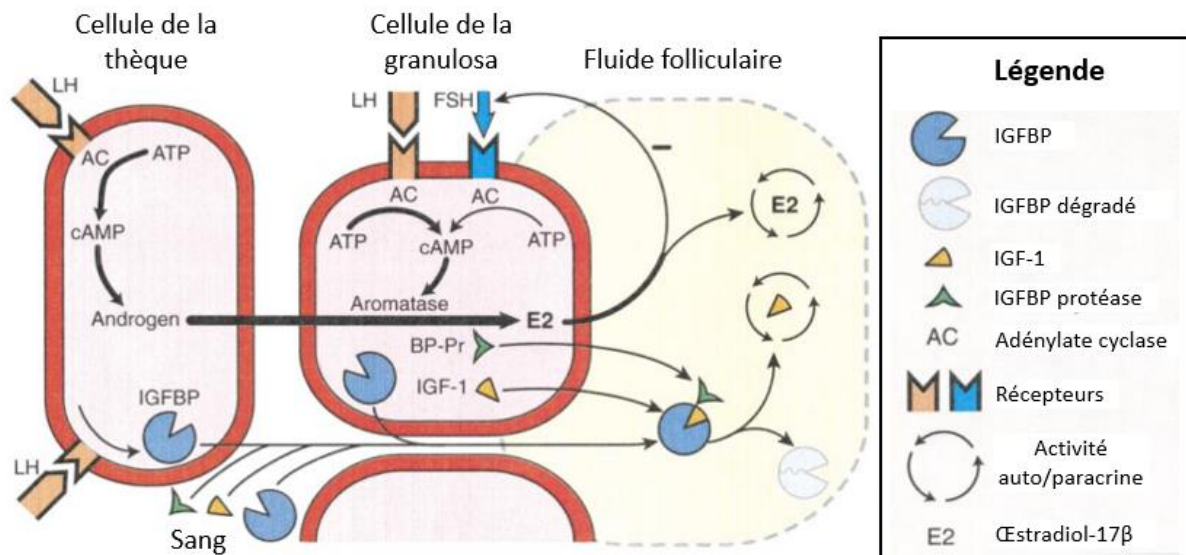


Figure 6 : Modèle schématique des interactions entre les cellules de la thèque et de la granulosa du futur follicule dominant au moment de la sélection (Source : GINTHER et al., 2001)

Les concentrations en E2 et LH continuent d'augmenter en parallèle au cours de la croissance du follicule dominant, du fait du rétrocontrôle positif mutuel des deux hormones (EVANS, et al., 1997). Les follicules « subordonnés » quant à eux régressent. Leur atrophie est contrôlée *via* l'inhibine produite par le follicule dominant qui agit localement en limitant la sensibilité des autres follicules à la FSH et en inhibant la sécrétion de cette dernière par l'antéhypophyse (BALL & PETERS, 2004).

Enfin, 24 à 32h avant l'ovulation (NOAKES, 1997), la forte concentration d'E2 produit par le follicule pré-ovulatoire induit une décharge de GnRH qui elle-même induit un pic de LH d'amplitude et de fréquence suffisantes pour provoquer l'ovulation (FORDE, et al., 2011). La concentration en E2 est alors à son pic, supérieure à 1µg/mL (FORTUNE, et al., 2004), puis celle-ci décroît après l'ovulation, permettant à la FSH de réaugmenter et une nouvelle vague folliculaire de voir le jour (EVANS, et al., 1997).

1.3.2.2. Les régulations hormonales lors de la phase lutéale

Le pic pré-ovulatoire de LH a également initié la lutéinisation des cellules de la granulosa et de la thèque du follicule dominant. Cela a un effet sur les biosynthèses cellulaires : on passe ainsi d'une production d'E2 à une production de P4. Tandis que le corps jaune se forme et se développe, l'activité de l'adénylate cyclase augmente (SMITH, 1986), assurant une élévation de la progestéronémie durant les deux premiers tiers de la phase lutéale. Cette évolution se fait en parallèle d'une baisse de la fréquence et de la concentration en LH via le rétrocontrôle négatif exercé par la P4 (EVANS, et al., 1997). La fréquence des pulses de LH est alors divisée par deux entre le début et le milieu de la phase lutéale (WALTERS, et al., 1984). De même, la P4 exerce un rétrocontrôle négatif sur la FSH en limitant sa fréquence pulsatile de sa sécrétion (WALTERS, et al., 1984). Ces rétrocontrôles ont lieu au niveau de l'antéhypophyse, soit indirectement en inhibant l'amplitude et la fréquence de sécrétion de GnRH par l'hypothalamus, soit directement en limitant la réponse de l'antéhypophyse à la GnRH (STEVENSON & PULLEY, 2016). Enfin, la P4 sécrétée bloque également l'effet stimulant de l'E2 sur l'hypothalamus et l'antéhypophyse (STEVENSON & PULLEY, 2016).

Des vagues folliculaires continuent d'émerger lors de la phase lutéale mais les follicules dominants n'ovulent pas. En effet, le rétrocontrôle négatif de la P4 empêche la LH d'atteindre une fréquence pulsatile susceptible de déclencher l'ovulation (FORDE, et al., 2011). En parallèle, la production en E2 n'est pas durable et diminue entre la 1^{ère} et 2^e vague folliculaire car la concentration croissante en P4 inhibe de plus en plus la sécrétion de LH (EVANS, et al., 1997). Enfin, quand l'E2 décline, une nouvelle augmentation transitoire en FSH a lieu pour stimuler une nouvelle vague folliculaire (FORTUNE, et al., 2004).

A partir de J11 du cycle œstral, l'exposition continue de l'endomètre à la P4 inhibe l'expression de ses propres récepteurs au niveau des cellules utérines. Cela permet dans le même temps une augmentation de l'expression des récepteurs à l'E2 et l'ocytocine au sein des cellules de l'endomètre à partir de J13. L'action synergique de ces deux hormones devient progressivement assez importante pour stimuler une sécrétion suffisante de PGF2α par l'endomètre pour entamer la lutéolyse à partir de J17. La PGF2α se fixe à ses récepteurs au niveau des grandes cellules lutéales, ayant pour effet de diminuer la production de P4 (par l'intermédiaire d'une baisse d'activité de l'adénylate cyclase (SMITH, 1986)) et d'induire l'apoptose des cellules lutéales (THATCHER, 2017).

Tandis que le corps jaune régresse, la fréquence des pulses de LH repart à la hausse à la suite d'une baisse de la P4 circulante et la levée de son rétrocontrôle négatif. En parallèle, l'E2 circulante augmente avec le développement du follicule dominant (STUMPF, et al., 1989).

1.4. La reprise de cyclicité *post-partum* ((OPSOMER, et al., 1996) ; (SAKAGUCHI, et al., 2004))

La parturition est suivie d'une période acyclique et anovulatoire plus ou moins longue selon la capacité de l'organisme à relancer la cyclicité ovarienne et induire l'ovulation.

Après le vêlage, l'utérus doit involuer pour revenir à son état pré-gravidique et une activité ovarienne cyclique doit reprendre. Or, ces deux paramètres sont liés. La reprise de l'activité ovarienne accélère l'involution utérine via l'effet bénéfique des œstrogènes sur les mécanismes de défenses de l'utérus et les contractions des fibres musculaires. En parallèle, la sécrétion massive de PGF2 α par l'endomètre en *post-partum* stimule la reprise de la cyclicité ovarienne. Ainsi, plus cette sécrétion dure dans les jours suivants le vêlage, plus la première ovulation arrivera tôt en *post-partum*.

Au cours de cette période, de nombreux petits follicules grandissent sans pour autant atteindre la dominance du fait d'une reprise tardive et progressive des stimulations hormonales. C'est d'ailleurs dans l'ovaire controlatéral à la corne auparavant gravide que le développement folliculaire est le plus prononcé. Le premier follicule dominant se forme ainsi classiquement dans les 10 premiers jours *post-partum* et la première ovulation a lieu dans les 2 à 3 semaines après le part, comme représentée dans la Figure 7 ci-contre.

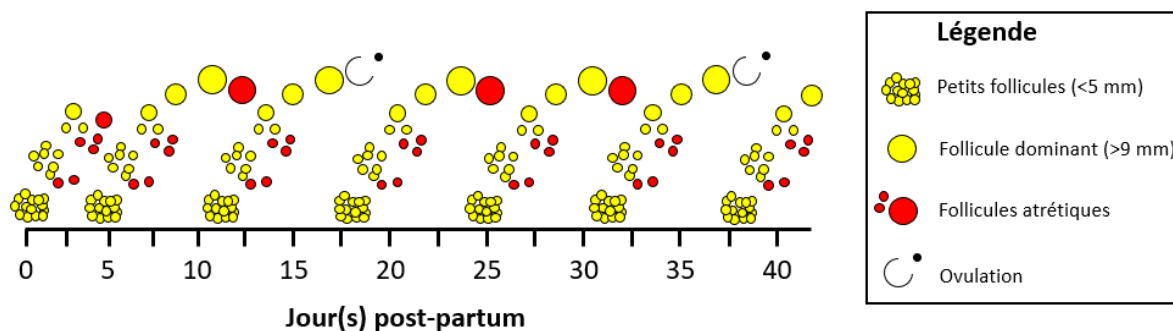


Figure 7 : Modèle schématique de la reprise de l'activité ovarienne *post-partum* (Source : FABRE Axel)

La période anovulatoire *post-partum* chez la vache laitière n'est pas due à un manque de développement folliculaire mais plutôt à l'incapacité du follicule dominant à ovuler. En effet, la LH est le principal facteur limitant pour assurer une reprise de cyclicité ovarienne dans les plus brefs délais. Les niveaux de stéroïdes au cours de la gestation ont inhibé l'axe hypothalamo-hypophysaire, avec pour conséquence un niveau sanguin en LH et FSH au plus bas. Or, à partir du vêlage, la P4 et l'E2 descendent à des niveaux basaux, permettant, par la levée du rétrocontrôle négatif, une hausse transitoire de la FSH dans les 3 à 5 jours *post-partum* (FORDE, et al., 2011). Cela assure la réémergence de nouvelles vagues folliculaires et la production d'E2. L'E2 stimule à son tour la sécrétion de LH par l'antéhypophyse, en la rendant plus sensible à la GnRH.

Le stimulateur majeur de l'ovulation lors des premières semaines *post-partum* est la fréquence pulsatile de LH. Ce n'est qu'une fois que cette fréquence atteint au moins 1 pulsation par heure que le premier cycle œstral et la première ovulation sont possibles (FORDE, et al., 2011).

Cependant, la reprise de la cyclicité ovarienne normale n'intervient pas forcément après la première ovulation. Ainsi, plus de 80% des vaches laitières ont une première ovulation *post-partum* dans les 50 jours après le vêlage tandis que, sur ce même laps de temps, seulement 54 à 68% ont une reprise de cyclicité ovarienne normale (SHRESTHA, et al., 2004). La majorité des vaches retrouvent tout de même une dynamique folliculaire normale à partir de la seconde ovulation *post-partum*.

2. Protocoles de synchronisation : l'exemple du protocole « GPG » (ou Ovsynch)

2.1. Introduction : Apparition et mise en application des protocoles de synchronisation

L'utilisation de l'insémination animale en élevage bovin est une pratique courante de nos jours. Bien que peu réalisée en élevage allaitant, qui privilégie la monte naturelle, elle s'est démocratisée en élevage laitier. Ainsi, en Amérique du Nord, 80% des éleveurs laitiers pratique l'IA contre 4% chez les éleveurs allaitants (COLAZO & MAPLETOFT, 2014).

Les IA sont traditionnellement réalisées sur observation des chaleurs. Cependant, cela s'est très vite révélé chronophage et les pratiques d'élevage ont rendu la tâche compliquée : l'agrandissement des effectifs au sein des troupeaux et la hausse de la production laitière limitent la gestion individuelle ainsi que l'interaction animal/éleveur (via les robots de traite notamment) (MACMILLAN, 2010). En plus de cela, de nombreux autres facteurs ont influencé la durée des chaleurs et la manifestation des signes associés (NOWICKI, et al., 2017). Par conséquent, la détection des chaleurs en élevage laitier est souvent faible voire inadéquate (parfois inférieure à 50%), représentant une cause majeure de la baisse des performances de reproduction des animaux. Des solutions sont alors recherchées pour pallier ces difficultés (COLAZO & MAPLETOFT, 2014).

Une meilleure compréhension du cycle ovarien et de sa régulation chez les vaches laitières (BISINOTTO, et al., 2014) a permis l'émergence des premiers protocoles de traitements hormonaux il y a plus de 40 ans (LAMB, et al., 2010). Leur objectif est de contrôler le cycle ovarien en injectant des hormones synthétiques afin de mimer les hormones naturellement présentes chez l'animal (LUCY, et al., 2004).

Les premiers protocoles ayant vu le jour ont tout d'abord permis de synchroniser les chaleurs des animaux. Les œstrus avaient alors lieu dans un laps de temps prédéfini après la fin du traitement. Ces protocoles étaient basés sur le contrôle de la durée de vie du corps jaune via l'utilisation de PGF2 α , ou encore l'inhibition de l'œstrus par l'intermédiaire de P4 ou d'analogues (LAMB, et al., 2010). Ces innovations ont ainsi permis d'assister l'éleveur dans son quotidien en réduisant l'intervalle de temps où il devait surveiller les chaleurs des animaux traités (COLAZO & MAPLETOFT, 2014). L'étape suivante a été permise grâce à une meilleure connaissance du fonctionnement des vagues folliculaires et le développement de protocoles utilisant de la GnRH (LAMB, et al., 2010). En associant la PGF2 α et la GnRH, ces protocoles permettent de contrôler la synchronisation de la croissance folliculaire, la lutéolyse et l'ovulation. Ils permettent également la mise en place d'IA programmées, c'est-à-dire que la date d'insémination est fixée par le protocole sans que l'éleveur ait besoin de surveiller les chaleurs (COLAZO & MAPLETOFT, 2014). Ce type de protocole s'est rapidement démocratisé avec l'informatisation des élevages (liste quotidienne des animaux à traiter/inséminer) (WILT BANK & PURSLEY, 2014) et l'intérêt des élevages où les taux de détection d'œstrus et les taux de conception étaient faibles (LUCY, et al., 2004).

Aujourd'hui, les protocoles hormonaux de synchronisation des chaleurs et des ovulations sont largement intégrés dans la gestion de la reproduction des élevages laitiers (CARVALHO, et al., 2018). A titre d'exemple, aux Etats-Unis de 1998 à 2008, on est passé de 10% à 58% des vaches du cheptel utilisant ces protocoles (WILTBANK & PURSLEY, 2014). Leur utilisation peut se limiter dans la plupart des élevages aux vaches en anœstrus ou non fécondées après une période prédéfinie par l'éleveur, ou se généraliser à l'ensemble du troupeau avec des programmes d'inséminations dans les cas les plus intensifs (LUCY, et al., 2004). Les avantages sont bien évidemment économiques avec une minimisation des coûts liés à l'IA, le gain de temps pour l'éleveur (diminution voire absence de détection de chaleurs, moins de manipulations des animaux) ou encore la réduction de la période d'inséminations et de vêlages ((LAMB, et al., 2010) ; (NOWICKI, et al., 2017)). Cependant, il est important de prendre en compte que ces traitements hormonaux ne sont pas infaillibles et les échecs peuvent potentiellement être nombreux : protocoles initiés sur un animal avec un désordre du tractus génital non détecté (endométrite, kyste ovarien, anœstrus vrai) (NOWICKI, et al., 2017), absence de synchronisation en fin de protocole ...

2.2. Le protocole Ovsynch

L'Ovsynch est un protocole de synchronisation permettant de réaliser une IA à un moment optimal et programmé sans détection des chaleurs. Ce protocole a été modifié de nombreuses fois afin d'améliorer ses résultats sur les performances de reproduction des vaches (NOWICKI, et al., 2017). L'Ovsynch et ses variantes représentent aujourd'hui la majorité des protocoles utilisés à travers le monde (BISINOTTO, et al., 2014).

2.2.1. Histoire de sa conception

Le protocole Ovsynch a été développé par Pursley et Wiltbank en 1995 (BISINOTTO, et al., 2014). Leur objectif était d'assurer une coordination précise des hormones reproductives en adéquation avec le développement lutéal et folliculaire afin d'obtenir un environnement hormonal optimal au sein duquel tous les animaux ovuleraient et deviendraient gravides en même temps (WILTBANK & PURSLEY, 2014).

Le protocole a avant tout été confectionné pour augmenter le taux d'insémination en élevage laitier du fait des problèmes liés à la détection des chaleurs (BISINOTTO, et al., 2014). Et bien qu'il ne permette pas une synchronisation parfaite, le pourcentage de vaches synchronisées a permis d'atteindre des taux de fécondité/gestation similaires aux pratiques avec IA sur détection de l'œstrus chez les vaches haute-productrices (WILTBANK & PURSLEY, 2014).

2.2.2. Déroulement et mécanisme d'action du protocole

L'Ovsynch se base sur l'utilisation de GnRH et PGF2 α afin de réaliser une IA à l'aveugle 10 jours après le début du protocole.

A J0 du protocole, une première injection de GnRH est faite dans le but d'induire un pic de LH. En présence d'un follicule dominant (diamètre supérieur à 10mm), ce dernier ovule sous l'action de la LH et un corps jaune se forme (NOWICKI, et al., 2017). Une nouvelle vague folliculaire émerge approximativement 2 jours plus tard (COLAZO & MAPLETOFT, 2014) et un nouveau follicule dominant est sélectionné 7 jours après l'injection de GnRH (WILTBANK & PURSLEY, 2014).

A J7, une injection de PGF2 α est réalisée et induit la lutéolyse du ou des corps jaunes alors en place. La baisse de la progestéronémie consécutive à la régression lutéale permet alors une levée d'inhibition sur la sécrétion de LH (COLAZO & MAPLETOFT, 2014). Le follicule dominant de la vague folliculaire en cours continue ainsi son développement (WILTBANK & PURSLEY, 2014).

A J9, une seconde injection de GnRH permet de renforcer le pic pré-ovulatoire de LH et induire l'ovulation du follicule dominant (NOWICKI, et al., 2017). Cette synchronisation de l'ovulation permet ainsi d'anticiper le moment de l'IA (WILTBANK & PURSLEY, 2014).

A J10, l'IA est réalisée 16h à 20h après la deuxième injection de GnRH (COLAZO & MAPLETOFT, 2014).

L'ensemble du protocole et les effets attendus à chaque injection sont schématisés dans la Figure 8 ci-dessous.

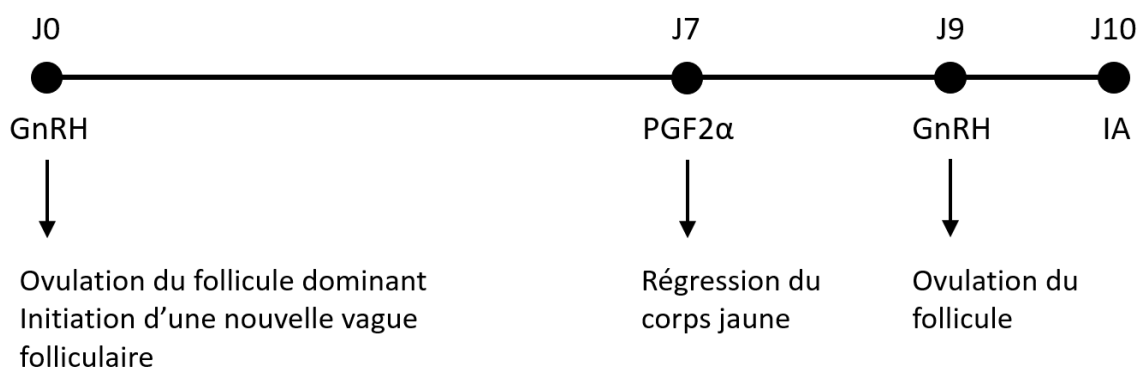


Figure 8 : Protocole Ovsynch et mécanismes d'action (Source : FABRE Axel)

2.2.3. Indications

Le protocole « GPG » est indiqué pour l'induction des chaleurs et l'ovulation d'une vache adulte cyclée, permettant ainsi de réaliser une insémination à l'aveugle (PONTLEVOY, 2017).

Ce protocole est donc particulièrement intéressant dans les élevages avec de mauvaises manifestations des chaleurs (les chaleurs silencieuses affectant 10 à 40% des élevages laitiers (NOWICKI, et al., 2017)) et où le taux de détection de chaleurs n'est pas optimal, notamment avec des vaches hautes productrices (PONTLEVOY, 2017).

L'Ovsynch représente également un bon moyen thérapeutique face à certains désordres génitaux comme les kystes ovariens : la GnRH induit l'ovulation des kystes folliculaires et la PGF2 α la lutéolyse des kystes lutéaux (NOWICKI, et al., 2017).

En revanche, le protocole « GPG » n'est pas indiqué chez les génisses, y étant peu réceptives (WILTBANK & PURSLEY, 2014). En effet, les cycles ovariens et les vagues folliculaires sont plus courtes chez les génisses, avec des follicules dominant s'atréant plus rapidement. Les délais entre les injections (notamment les 7 jours séparant la première injection de GnRH et l'injection de PGF2 α) sont donc peu compatibles avec ce rythme de développement folliculaire. De même, les études semblent indiquer que ce protocole est peu adapté aux vaches non cyclées (BLANDIN, 2019).

2.2.4. Efficacité et critiques

Le protocole « GPG » a fait l'objet de nombreuses études pour déterminer son efficacité sur le terrain, notamment en le comparant aux pratiques plus traditionnelles d'IA sur détection de chaleurs. Elles ont ainsi noté une hausse du taux d'insémination, une baisse de l'intervalle vêlage-1^{ère} insémination (IVIA₁) et de l'intervalle vêlage-insémination fécondante moyens (WILTBANK & PURSLEY, 2014). Cependant, ces paramètres sont contrebalancés par un des gros points négatifs pointé du doigt par certaines études : le taux de conception plus faible après application du protocole ((MACMILLAN, 2010) ; (COLAZO & MAPLETOFT, 2014)).

Le facteur fondamental qui détermine la réussite de l'IA et potentialise le taux de conception est la correcte synchronisation lors du protocole, c'est-à-dire la réalisation et la succession des différents effets attendus après chaque injection, à des moments clés du cycle ovarien. Carvalho et al. observent ainsi que les vaches synchronisées ont un taux de conception plus élevées que celles non synchronisées (taux de conception respectivement de 40-60% et 10%). Or seulement 50% des individus sont correctement synchronisés en fin de protocole (CARVALHO, et al., 2018).

L'étape primordiale pour cette synchronisation est probablement l'ovulation à l'issue de la première injection de GnRH. Celle-ci améliore la synchronisation du cycle œstral et limite la période de dominance folliculaire (STEVENSON, 2016). Carvalho et al. constatent ainsi que les vaches ovulant à la première injection de GnRH ont un meilleur taux de gestation par IA comparées à celles n'ovulant pas (CARVALHO, et al., 2018). Or, cette ovulation n'a lieu que dans 50% à 60% des cas lorsque l'injection de GnRH est réalisée à n'importe quel moment du cycle œstral ((BISINOTTO, et al., 2014) ; (CARVALHO, et al., 2018)). Cela représente une des limites du modèle initial de l'Ovsynch proposé par Pursley et Wiltbank dans lequel ils émettaient l'hypothèse que l'ovulation après cette première injection avait lieu quel que soit le moment du cycle œstral où le protocole débute (WILTBANK & PURSLEY, 2014). Les études ultérieures ont pu montrer que le moment du cycle auquel le protocole était entamé influençait le taux de réussite à l'IA, avec un optimum obtenu entre J5 et J9 du cycle œstral (c'est-à-dire en début de dioestrus) ((BISINOTTO, et al., 2014) ; (COLAZO & MAPLETOFT, 2014) ; (CARVALHO, et al., 2018)).

Un autre problème dans la synchronisation peut ensuite résider dans l'absence d'effet de la PGF2 α . Il arrive qu'une unique injection de cette molécule n'induit pas une lutéolyse complète (BISINOTTO, et al., 2014), notamment quand le corps jaune est non réceptif à la PGF2 α dans ses 5 premiers jours de vie (CARVALHO, et al., 2018). Cela peut avoir des conséquences sur le développement du follicule dominant qui doit ovuler après la deuxième injection de GnRH.

Enfin, diverses études ont montré que l'intervalle de temps optimal entre la deuxième injection de GnRH et l'IA était de 16h. On obtient alors le meilleur taux de gestation par IA ((NOWICKI, et al., 2017) ; (WILTBANK & PURSLEY, 2014)).

2.2.5. Avantages et inconvénients du protocole Ovsynch (NOWICKI, et al., 2017)

L'ensemble des avantages et inconvénients associés au protocole Ovsynch sont résumés dans le Tableau I ci-dessous :

Tableau I : Avantages et inconvénients du protocole Ovsynch

Avantages	Inconvénients
Application possible sur toutes les vaches cyclées	Fertilité/fécondité faible chez les génisses et vaches non cyclées
Plus besoin de détecter les chaleurs	Efficacité maximale limitée à un début de protocole entre le 5 ^e et le 9 ^e jour du cycle œstral
Synchronisation du travail dans le troupeau	Réponses variables aux traitements hormonaux
Effet thérapeutique possible	Coût des hormones

2.3. Les modifications/variantes du protocole Ovsynch

Pour pallier certains inconvénients de l'Ovsynch, des variantes ont été étudiées et proposées. Ces nouveaux protocoles jouent sur divers paramètres : intervalles entre les différentes injections et entre la dernière injection et l'IA, ajout de molécules, moment de son application dans la période de reproduction. Des protocoles de pré-synchronisation ont également été proposés (mise en place d'injections préalables au protocole classique Ovsynch afin de le débiter dans la période optimale du cycle œstral).

2.3.1. Protocoles sans pré-synchronisation

2.3.1.1. Cosynch

Le protocole Cosynch ressemble beaucoup à l'Ovsynch à ceci près que la deuxième injection de GnRH et l'IA sont réalisées en même temps, 48h à 66h après l'injection de PGF2 α (LAMB, et al., 2010), comme présenté ci-dessous dans la Figure 9. Il est notamment pratiqué en élevage allaitant pour limiter les manipulations de l'animal (COLAZO & MAPLETOFT, 2014).

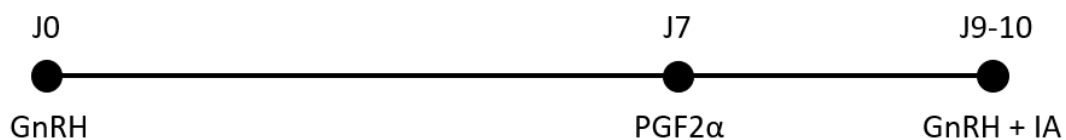


Figure 9 : Protocole Cosynch (Source : FABRE Axel)

2.3.1.2. Ovsynch avec deux prostaglandines F2 α (ou protocole « GPPG »)

Comme indiqué plus haut, certaines lutéolyses ne sont pas assurées après une unique injection de PGF2 α , ce qui pose un réel problème pour la synchronisation de l'ovulation. C'est pourquoi certains protocoles intègrent une seconde injection de PGF2 α pour augmenter les chances de régression du/des corps jaunes (CARVALHO, et al., 2018). Celle-ci est réalisée en général 24h après la première injection de PGF2 α (NOWICKI, et al., 2017), comme représenté ci-contre dans la Figure 10.

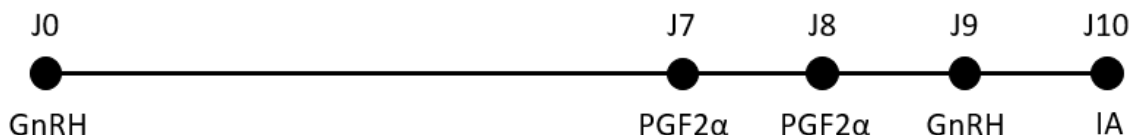


Figure 10 : Protocole « GPPG » (Source : FABRE Axel)

2.3.1.3. Ovsynch associé à un dispositif contenant de la progestérone

Une des limites de l'Ovsynch est son faible taux de réussite chez les génisses et les vaches non cyclées. Pour y remédier, certains protocoles incorporent une supplémentation en P4, le plus souvent par le biais d'un implant intravaginal libérant en continu cette P4 (STEVENSON, 2016). Ce dispositif est en général intégré en début de protocole au moment de la première injection de GnRH et retiré juste avant l'injection de PGF2 α , comme représenté dans la Figure 11 ci-dessous.

Son intérêt réside dans sa capacité à prévenir une éventuelle ovulation précoce avant l'injection de PGF2 α (cas des génisses) ou encore à induire la cyclicité ovarienne en augmentant la sécrétion de LH après retrait du dispositif (cas des vaches non cyclées). Le taux de gestation chez les génisses et les vaches non cyclées est ainsi augmenté via ce type de protocole (COLAZO & MAPLETOFT, 2014). A noter que la supplémentation en P4 est aussi possible sur les vaches cyclées mais que l'éleveur retire plus d'avantages de cette pratique sur des vaches avec absence de corps jaune en début de protocole (STEVENSON, 2016).

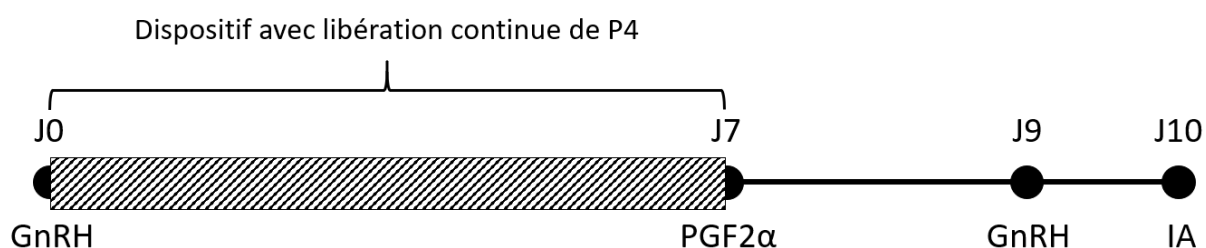


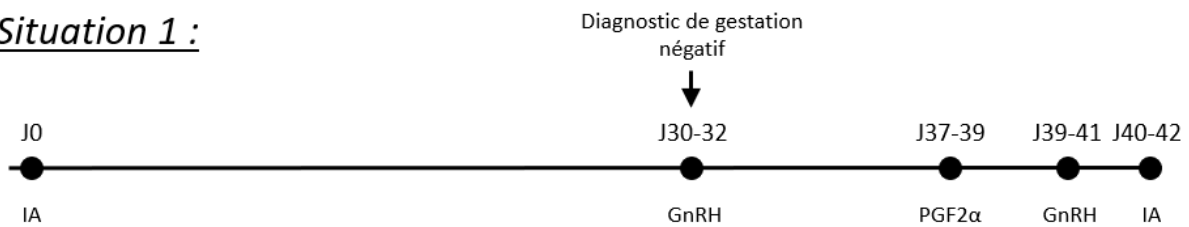
Figure 11 : Protocole Ovsynch avec dispositif libérant de la progestérone en continu (Source : FABRE Axel)

2.3.1.4. Resynch (NOWICKI, et al., 2017)

Le protocole Resynch est identique à l'Ovsynch mais est utilisé dans un contexte particulier. En effet, le protocole consiste en 2 inséminations consécutives dans le cas où la vache n'est pas diagnostiquée gestante à 30-32 jours après la première IA.

Un protocole Ovsynch classique est soit lancé le jour du diagnostic de gestation (s'il est négatif), soit 7 jours avant ce diagnostic. Dans ce deuxième cas, l'objectif est d'anticiper un potentiel échec de l'IA et gagner du temps en réduisant l'intervalle entre IA. La PGF2 α est alors faite le jour du diagnostic de gestation, si ce dernier est négatif. Ces deux situations sont schématisées ci-contre dans la Figure 12.

Situation 1 :



Situation 2 :

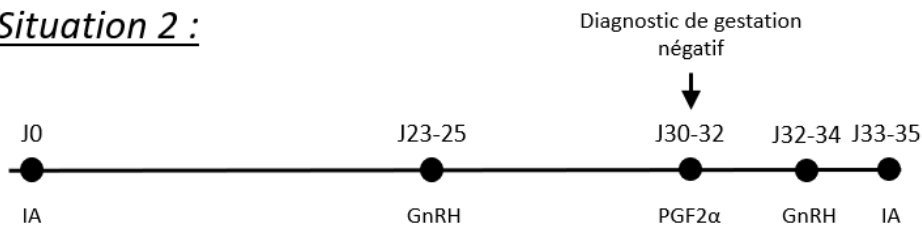


Figure 12 : Les deux situations du protocole Resynch (Source : FABRE Axel)

2.3.1.5. 5-day Ovsynch (STEVENSON, 2016)

Le protocole 5-day Ovsynch associe modification des intervalles entre injections et ajout de molécules par rapport à l'Ovsynch classique.

A J0, une injection de GnRH est réalisée. Cinq jours plus tard, deux injections de PGF2 α sont faites à 24h d'intervalle (J5 et J6). Une deuxième injection de GnRH et l'IA sont enfin réalisées en même temps, 48h après la dernière injection de PGF2 α (J8). Le protocole est représenté dans la Figure 13 ci-dessous.

L'intérêt de ce passage à 5 jours d'intervalle (au lieu de 7 jours) est de réduire la période de dominance folliculaire. De plus, les performances de reproduction chez les génisses, notamment le taux de gestation, sont améliorées après un 5-day Ovsynch plutôt qu'un Ovsynch classique.

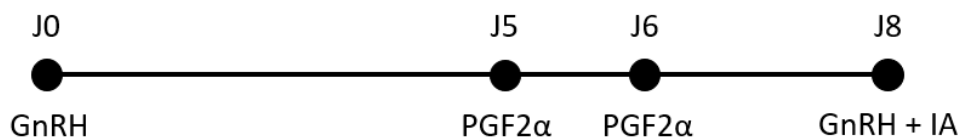


Figure 13 : Protocole 5-day Ovsynch (Source : FABRE Axel)

2.3.2. Protocoles avec pré-synchronisation

Les protocoles de pré-synchronisation ont été développés avec pour objectif d'augmenter le pourcentage de vaches débutant un protocole de synchronisation dans les conditions optimales, c'est-à-dire en début de diœstrus. Ces protocoles ont ainsi permis d'augmenter le taux de conception de 10-20% comparés à un protocole Ovsynch classique (CARVALHO, et al., 2018).

Cependant, les protocoles de pré-synchronisation présentent l'inconvénient d'augmenter le nombre d'interventions/injections sur l'animal. Cela les rend moins pratiques ou acceptables par les éleveurs (BISINOTTO, et al., 2014).

2.3.2.1. Presynch

Le protocole Presynch consiste en une pré-synchronisation incluant 2 injections de PGF2 α à 14 jours d'intervalle. Le protocole classique Ovsynch est ensuite réalisé 12 jours après la deuxième injection de PGF2 α (NOWICKI, et al., 2017), comme représenté dans la Figure 14 ci-contre.

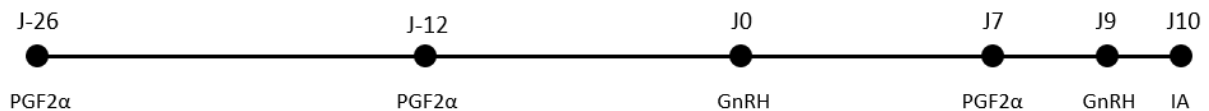


Figure 14 : Protocole Presynch suivi d'un protocole Ovsynch (Source : FABRE Axel)

Colazo et al. ont constaté que le taux gestation était en hausse de 10-12% avec cette pré-synchronisation par rapport à un Ovsynch seul (COLAZO & MAPLETOFT, 2014). Un autre intérêt de la mise en place de cette pré-synchronisation est de laisser une certaine flexibilité quant à la possibilité d'inséminer sur détection de chaleurs dans les 12 jours séparant la deuxième injection de PGF2 α et la première injection de GnRH (BISINOTTO, et al., 2014).

Certains éleveurs préfèrent mettre en place un intervalle de 14 jours entre la pré-synchronisation et l'Ovsynch pour une question de praticité : les injections sont ainsi réalisées le même jour de la semaine. Cependant, des études semblent indiquer que les meilleurs taux d'ovulation à la première GnRH et taux de gestation par IA sont obtenus pour des intervalles de 10, 11 voire 12 jours ((BISINOTTO, et al., 2014) ; (STEVENSON, 2016)). En effet, en appliquant ces intervalles, la première injection de GnRH du protocole Ovsynch aura lieu entre J5 et J9 du cycle œstral, comme présenté page suivante dans la Figure 15. Or cette période, comme indiqué précédemment, est le moment optimal pour débuter le protocole Ovsynch.

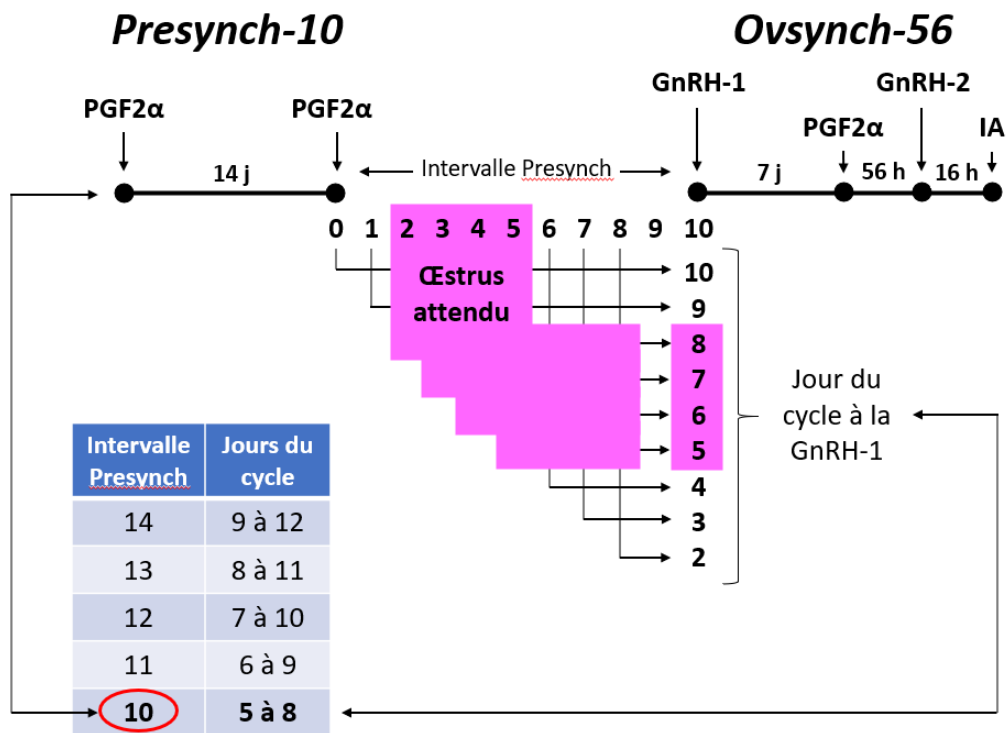


Figure 15 : Schéma explicatif de la relation entre l'intervalle Presynch et les jours du cycle œstral au début de l'Ovsynch (d'après STEVENSON, 2016)

Une limite majeure du protocole Presynch est l'incapacité d'améliorer la fertilité des vaches non cyclées ou anovulatoires, celles-ci ne répondant pas aux injections de PGF2α (COLAZO & MAPLETOFT, 2014). C'est pourquoi certains protocoles intègrent de la GnRH dans leur pré-synchronisation (ex : Double-Ovsynch, G6G...) (BISINOTTO, et al., 2014).

2.3.2.2. Double-Ovsynch

Ce protocole correspond à deux protocoles Ovsynch successifs séparés de 7 jours. Le premier Ovsynch joue ainsi le rôle de pré-synchronisation pour le deuxième. L'IA n'est alors réalisée qu'après le deuxième Ovsynch (NOWICKI, et al., 2017). Le protocole est schématisé ci-dessous dans la Figure 16.

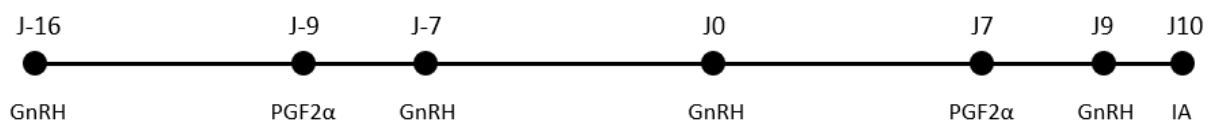


Figure 16 : Protocole Double-Ovsynch (Source : FABRE Axel)

Carvalho et al. ont constaté une hausse du taux de gestation par IA après un Double-Ovsynch comparé aux IA réalisées sur détection de chaleurs (49% contre 38,6% à 33 jours post-IA) (CARVALHO, et al., 2018). Les taux de gestations avec Double-Ovsynch sont même meilleurs qu'avec un Presynch suivi d'un Ovsynch, notamment chez les primipares (COLAZO & MAPLETOFT, 2014) et les génisses (NOWICKI, et al., 2017).

2.3.2.3. Protocole « G6G »

Le protocole « G6G » est un autre protocole utilisant de la GnRH en présynchronisation.

A J0, une première injection de PGF2 α est réalisée, suivie 2 jours plus tard d'une injection de GnRH. Le protocole classique Ovsynch débute ensuite 6 jours après cette dernière injection (STEVENSON, 2016). Les différentes étapes du protocole sont présentées ci-dessous dans la Figure 17.

Les taux de gestation par IA après un « G6G » ont tendance à être meilleurs qu'avec un Ovsynch classique mais restent similaires à ceux obtenus après un Presynch suivi d'un Ovsynch (COLAZO & MAPLETOFT, 2014).



Figure 17 : Protocole « G6G » (Source : FABRE Axel)

3. Facteurs influençant la fertilité chez la vache

Pendant des décennies, l'industrie du lait n'a porté son attention que sur la production laitière croissante des animaux, voyant cet élément comme unique véritable source de profit. Les avancées dans le secteur ne se sont alors focalisées que sur ce paramètre (génétique, nutrition...). Cependant, depuis quelques années, les éleveurs ont recentré leur attention sur d'autres facteurs, jusqu'alors délaissés voire mis à mal par le développement de la production laitière. Ces facteurs se révèlent être d'autres leviers pouvant renforcer les profits de l'éleveur. On y retrouve la santé des animaux, leur longévité ou encore leur fécondité/fertilité (BEEVER, 2006).

Pour un maximum de production et de profit, il est convenu que les vaches vèlent environ tous les 12 mois. Cependant, cet objectif devient de plus en plus difficile à atteindre en élevage. En effet, le taux de conception est passé de plus de 50% dans les années 50 à environ 35% ces dernières années (GUO, et al., 2020).

Beever a suggéré 3 grandes catégories de facteurs pour expliquer ce déclin de fertilité : le recours à la génétique, la gestion de l'élevage et la nutrition (BEEVER, 2006).

3.1. Facteurs individuels

3.1.1. Âge

La plupart des études ayant analysé l'influence de l'âge des animaux sur la fertilité convergent vers une même conclusion : les performances de reproduction se dégradent avec l'âge. Ainsi, les génisses seraient plus fertiles que les vaches en lactation ((BADINGA, et al., 1985) ; (GWAZDAUSKAS, et al., 1986) ; (BALENDRAN, et al., 2008)). De même, Santos et al. observent des taux de conception à l'IA₁ supérieurs chez les primipares comparées aux multipares (SANTOS, et al., 2009). D'autres études suggèrent même que la fertilité décroît à partir d'un stade de lactation en particulier, avec une baisse du taux de conception observée à partir de la 3^e ((HILLERS, et al., 1984) ; (KHAN, et al., 2015)) ou 4^e lactation (GRIMARD, et al., 2006).

Pour expliquer cette association négative entre âge et fertilité, différentes hypothèses ont été formulées. Une première hypothèse est en lien avec le stress de la lactation qui impacterait de façon négative les performances de reproduction, expliquant les différences observées entre nullipares et primi-/multipares (BADINGA, et al., 1985). Une autre hypothèse évoque le changement de l'environnement utérin à partir du premier vêlage qui serait alors plus propice aux affections utérines (BALENDRAN, et al., 2008). Erb et al. estiment d'ailleurs que plus une vache avance dans sa carrière et plus la fréquence des maladies en lien avec la reproduction et les vêlages successifs (dystocie, infections utérines, ...) augmente (ERB, et al., 1985).

Il est cependant intéressant de noter que les conclusions de toutes les études ne vont pas dans le même sens. Dans son étude, Fulkerson conclut que la fertilité augmente avec l'âge, en observant moins de retours en chaleur après IA₁ chez les vaches plus âgées (FULKERSON, 1984). Cette étude est néanmoins relativement ancienne et des études plus récentes manquent afin de pouvoir conclure.

3.1.2. Production laitière

La production laitière est un frein aux performances de reproduction et notamment à la fertilité. Il a été démontré qu'une augmentation de la production était associée à une baisse du taux de conception à l'IA₁ ((GRIMARD, et al., 2006) ; (MACKEY, et al., 2007)) et à une augmentation du nombre d'IA (FAUST, et al., 1988).

La composition du lait joue également un rôle. La quantité de matière grasse et de protéines est ainsi associée négativement à la fertilité. Les nutriments alloués à la production laitière et l'entretien, voire la croissance de l'animal, ne sont alors plus disponibles pour la reproduction (RODNEY, et al., 2018).

Certaines études ont tenté d'expliquer cette interaction entre production et reproduction. Selon Grimard et al., l'effet de la production laitière sur la fertilité de la vache serait la conséquence d'une combinaison des effets négatifs de la génétique et de la nutrition (via la sévérité et la durée du déficit énergétique *post-partum*) (GRIMARD, et al., 2006).

3.1.3. Note d'état corporel (NEC) et déficit énergétique

Chez la vache laitière, le début et le pic de lactation sont sans aucun doute une période critique pour la reproduction, du fait des besoins énergétiques très importants. Par exemple, pour atteindre une production de 35kg de lait journalier, une vache va avoir besoin de 3 fois plus d'énergie pour la production de lait que pour ses besoins d'entretien. En parallèle, la quantité d'énergie apportée par l'alimentation est déficiente comparée à l'énergie nécessaire pour la production laitière, ce qui est à l'origine d'un déficit énergétique qui persiste plusieurs semaines et atteint son maximum généralement entre la 1^{ère} et la 2^e semaine de lactation (BUTLER & SMITH, 1989).

Un des paramètres permettant d'objectiver le déficit énergétique en élevage est la NEC. Pour rappel, il s'agit d'une notation évaluant les réserves de graisse d'un animal. En étudiant son évolution autour du vêlage, il est alors possible de déterminer la plus ou moins grande sévérité du déficit. Ainsi, une chute de NEC chez un individu est étroitement corrélée à une balance énergétique négative, avec mobilisation de ses réserves graisseuses.

Une NEC élevée autour du vêlage, associée à une chute importante de celle-ci au cours de cette période est corrélée à de l'infertilité ((ROCHE, et al., 2007) ; (RODNEY, et al., 2018)). Le pourcentage de réussite à l'IA₁ décroît significativement lorsque la chute de NEC est supérieure à 1 point autour du vêlage ((BUTLER & SMITH, 1989) ; (SANTOS, et al., 2009)). La mobilisation graisseuse, qui est d'autant plus importante que les réserves sont conséquentes au moment du vêlage (NEC > 4 points), est à l'origine d'une infiltration du foie par de la graisse. En parallèle, des troubles métaboliques s'installent une fois le foie surchargé, affectant la fonction de reproduction : une baisse de l'insuline circulante, de l'IGF-1 et de la fréquence pulsatile de LH impactent négativement la croissance du follicule dominant et la production d'E2 (ROCHE, et al., 2007). On observe alors un retour à la cyclicité ovarienne plus tardif (ROCHE, et al., 2007) (notamment lié à une moindre sensibilité de l'ovaire aux hormones gonadotropes à cause de l'hypoinsulinémie (BUTLER & SMITH, 1989)), des cycles ovariens anovulatoires ou encore des chaleurs silencieuses (BARLETTA, et al., 2017).

Un modèle de relation entre déficit énergétique et sécrétion de gonadotropines est ainsi proposé par Butler et Smith, schématisé dans la Figure 18 ci-contre.

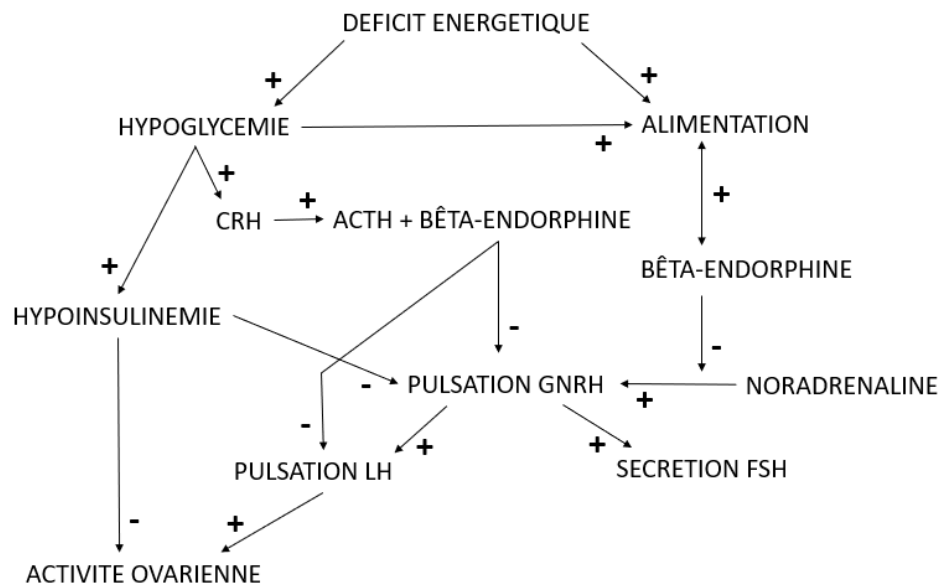


Figure 18 : Modèle pour la relation entre déficit énergétique et la sécrétion de gonadotropines chez les vaches laitières en *post-partum* (Source : BUTLER et SMITH, 1989)

Les recommandations actuelles préconisent une NEC au vêlage de 3,25 à 3,5 points (MISHRA, et al., 2016). Cependant, certaines études remettent en cause ces valeurs. Montiel-Olguin et al. considèrent qu'une NEC au vêlage inférieure à 3 voire 2,5 points, surtout pour les jeunes vaches à 1 ou 2 lactations, serait plus favorable pour leur fertilité. L'hypothèse proposée pour expliquer ces résultats serait une production laitière, et donc un stress métabolique, moindre chez ces animaux (MONTIEL-OLGUIN, et al., 2019). De même, selon Barletta et al., les vaches avec un index génétique élevé pour la production laitière devraient avoir une NEC idéale au vêlage entre 2,5 et 3 points (BARLETTA, et al., 2017). Au contraire, Santos et al. ont trouvé des taux de réussite à l'IA₁ (TRIA₁) significativement supérieurs quand la NEC au vêlage était supérieure à 3,75 points (SANTOS, et al., 2009).

La NEC au moment de l'IA influence également la fertilité (ROCHE, et al., 2007). Ainsi, plus la NEC est basse à l'insémination, plus la fertilité diminue (SANTOS, et al., 2009). Ceci s'explique par le fait que l'énergie est alors moins disponible pour la fonction de reproduction. Il est même suggéré de n'inséminer que les animaux ayant une NEC supérieure à 2,75 points, sans prendre en compte leur production laitière (MONTIEL-OLGUIN, et al., 2019).

Un lien étroit entre le jour du nadir du déficit énergétique (c'est-à-dire le jour où ce dernier est maximal) et la date de première ovulation a été établi. Canfield et al. ont mis en évidence une augmentation de la fréquence des pulses de LH en parallèle de la réduction du déficit énergétique, suggérant de nouveau que l'équilibre énergétique de l'animal joue un rôle fondamental dans le contrôle de la fonction de reproduction *post-partum* (CANFIELD, et al., 1990).

Du fait de ce déficit énergétique, un état de cétose subclinique voire clinique peut se mettre en place par accumulation de corps cétoniques dans le sang. Rutherford et al. ont ainsi montré que les vaches en cétose subclinique étaient moins fertiles avec un nombre d'IA par vache plus élevé (RUTHERFORD, et al., 2016). De même, chute de NEC et déficit énergétique *post-partum* sont associés à des risques pour la santé de l'animal du fait de la dépression du système immunitaire. C'est particulièrement le cas lors du « syndrome de la vache grasse » qui favorise l'apparition de désordres métaboliques et de troubles reproductifs autour du vêlage comme les métrites, les mammites ou encore les rétentions annexielles (MORROW, 1975). Ces affections sont elles-mêmes à l'origine d'une baisse de fertilité (reprise de cyclicité retardée, baisse du taux de conception, mortalité embryonnaire précoce) (BARLETTA, et al., 2017).

Enfin, il est intéressant de noter que, bien qu'il soit souvent étudié durant la période *post-partum*, le déficit énergétique peut aussi être présent avant le vêlage et jouer un rôle sur les futures performances reproductrices. La période de tarissement est ainsi une période critique pour la reprise de cyclicité ovarienne selon certaines études. Castro et al. ont comparé divers paramètres métaboliques au cours du tarissement entre deux groupes d'individus : les vaches à retour de cyclicité précoce (première ovulation dans les 3 semaines *post-partum*) et celles à retour de cyclicité plus tardif. Ils ont alors constaté que les vaches avec un retour de cyclicité précoce avaient une meilleure balance énergétique et des concentrations plasmatiques en glucose, insuline, IGF-1 et triiodothyronine/thyroxine plus élevées au cours du tarissement que les vaches du second groupe (CASTRO, et al., 2012). Tillard et al. se sont également intéressés aux facteurs nutritionnels affectant l'infertilité de la vache lors de la période *ante-partum*. Ils ont montré qu'une glycémie basse au cours de cette période, associée à une insulïnémie et cholestérolémie basse ainsi qu'à une concentration plasmatique en acide gras non estérifié élevée, était à l'origine d'une diminution du TRIA₁ chez les vaches hautes productrices (>8000kg / 305j). Ces observations attestent ainsi de l'effet différé d'un état de déficit énergétique *ante-partum* sur la réussite des futures IA (TILLARD, et al., 2007).

Il semble donc essentiel de porter une attention particulière à une bonne gestion de l'alimentation, notamment en fonction des stades physiologiques des animaux (tarissement, début lactation, pic de lactation...).

3.1.4. Désordres du tractus génital

Les premières semaines *post-partum* sont cruciales pour la réussite des futures IA, notamment via une reprise de cyclicité plus ou moins précoce. Outre le déficit énergétique *post-partum* qui joue un rôle majeur dans les performances de reproduction qui suivent le vêlage, les affections du tractus génital sont un frein majeur dans la reproduction bovine.

Tout d'abord, les difficultés au vêlage / dystocies et les rétentions placentaires sont associées à une baisse de la fertilité (RON, et al., 1984), avec notamment une hausse du nombre d'IA par conception et une baisse du taux de conception (HOSSEIN-ZADEH, 2013).

En parallèle, les infections utérines sont également source d'infertilité, notamment en retardant l'involution utérine. Ainsi, les endométrites/métrites sont associées à un nombre plus important d'IA par animal (ERB, et al., 1985) et à un taux de conception à l'IA₁ plus faible ((NAKAO, et al., 1992) ; (GILBERT, et al., 2005)). Elles sont d'autant plus fréquentes qu'un vêlage dystocique ou une rétention annexielle a eu lieu précédemment ((COLEMAN, et al., 1985) ; (ERB, et al., 1985)).

Ensuite, les dysfonctions ovariennes *post-partum* sont à l'origine de troubles de la fertilité. Parmi elles, on retrouve l'anœstrus anovulatoire (1^{ère} ovulation retardée), l'interruption de la cyclicité après la 1^{ère} ovulation, le corps jaune persistant ou encore les kystes ovariens. Elles sont influencées par de nombreux facteurs tels que l'âge, la nutrition ou la production laitière. Ces anomalies sont alors associées à un moins bon TRIA₁ (NAKAO, et al., 1992), une augmentation du nombre d'IA par animal (ERB, et al., 1985) et une baisse du taux de gestation par IA (RIBEIRO, et al., 2013).

Enfin, parmi les affections métaboliques qui influencent ces désordres génitaux, on notera la fièvre de lait. Celle-ci est associée à un risque plus important de développement de dystocies, rétentions placentaires ou encore infections utérines et donc indirectement à une baisse de la fertilité (ERB, et al., 1985).

3.2. Facteurs de troupeau

3.2.1. Détection des chaleurs

La gestion de l'éleveur concernant la détection des chaleurs influence grandement les performances de reproduction du troupeau. Coleman et al. suggèrent ainsi que les problèmes de fertilité observés au sein d'un cheptel bovin dépendent plus de mauvaises pratiques au sein des élevages (notamment la gestion de la détection des chaleurs), que de réels problèmes physiologiques des animaux (COLEMAN, et al., 1985).

Classiquement, la détection des chaleurs est réalisée par l'observation des signes caractéristiques des chaleurs. Le principal signe observé est l'acceptation du chevauchement par la vache en chaleurs. Les autres signes, secondaires, sont une vache qui chevauche d'autres vaches, la présence de mucus à la vulve (glaires de chaleurs), un gonflement de la vulve, une dépilation à la base de la queue ou une augmentation de l'activité (DISKIN & SREENAN, 2000). Parmi ces signes, certains semblent plus fiables que d'autres. Ainsi, Reimers et al. semblent suggérer que lorsque la vache se laisse chevaucher, le taux de conception est significativement plus élevé que pour une vache ayant d'autres signes d'œstrus mais ne se laissant pas chevaucher (REIMERS, et al., 1985). De même, Nyman et al. ont montré que plus ces signes d'œstrus sont nombreux et manifestes, plus le taux de conception des vaches est élevé (NYMAN, et al., 2016). En parallèle, et bien qu'une grande proportion des éleveurs n'en font pas encore usage, de nombreuses aides pour la détection des œstrus se développent dans le milieu de l'élevage (podomètre, accéléromètre).

La détection des chaleurs s'est cependant compliquée depuis quelques années. Les périodes d'œstrus sont plus courtes et les signes associés sont plus discrets qu'auparavant du fait d'une concentration plasmatique en E2 plus faible. Cette faible concentration a notamment été rattachée aux boiteries, une NEC basse, une production laitière élevée ou encore un déficit énergétique *post-partum* trop important qui vont inhiber l'axe hypothalamo-hypophysaire. Rutherford et al. ont montré que les vaches en cétose subclinique étaient actives sur un laps de temps plus court et avec un pic d'activité moindre autour de l'œstrus (RUTHERFORD, et al., 2016).

Un autre facteur qui explique les problèmes rencontrés par les éleveurs dans ce domaine concerne le temps dédié à la détection des chaleurs. Actuellement, il est recommandé d'observer les vaches entre 15 et 20 minutes 3 fois par jour (CHANVALLON, et al., 2014). Crowe et al. conseillent même un temps d'observation quotidien de 5 fois 20 min afin d'atteindre jusqu'à 90% de détection des chaleurs, sachant que ce taux de détection des chaleurs varie actuellement de 30 à 70% selon les troupeaux. Cependant, ces recommandations sont peu appliquées par les éleveurs car très chronophages (CROWE, et al., 2018). Ce temps alloué à la détection des chaleurs est donc souvent limité quotidiennement et les observations sont essentiellement effectuées dans l'aire d'alimentation ou encore lors de la traite. Or, ces moments/lieux ne sont pas optimaux car les animaux sont occupés à d'autres activités (COLEMAN, et al., 1985).

D'autres facteurs ont été étudiés et associés aux mauvaises détections des chaleurs. Tout d'abord, l'environnement/logement de la vache joue un rôle sur les chaleurs. Palmer et al. ont ainsi observé que les vaches manifestaient plus leurs chaleurs au pâturage qu'en stabulation (PALMER, et al., 2010). Le type de stabulation impacte également ces comportements : les vaches en stabulation entravée sont ainsi moins à même de manifester leurs chaleurs que celles en stabulation libre (CLAUS, et al., 1983). Enfin, les conditions climatiques ont un impact, notamment en été où les comportements d'œstrus sont plus discrets du fait des hautes températures. De ce fait, le délai d'insémination est souvent incorrect (RON, et al., 1984).

3.2.2. Intervalle vêlage-1^{ère} insémination

En élevage, un laps de temps est imposé par l'éleveur entre le vêlage de la vache et sa future IA₁ : c'est la période d'attente volontaire. Actuellement, dans la plupart des exploitations, les éleveurs choisissent d'augmenter l'IVIA₁ des vaches hautes productrices, motivés par l'effet bénéfique que procure cet allongement pour la fertilité de l'animal ((REIMERS, et al., 1985) ; (ERB, et al., 1985)). En effet, Buckey et al. ont observé dans leur étude que le TRIA₁ était supérieur quand l'IVIA₁ était supérieur à 75 jours. Ce taux diminuait d'autant plus que cet intervalle se réduisait (BUCKLEY, et al., 2003).

Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces résultats. Tout d'abord, les premières semaines *post-partum* sont associées à une période de déficit énergétique qui réduit considérablement la fertilité de l'animal (SANTOS, et al., 2009). En parallèle, le tractus génital et le système hypothalamus-hypophyse-ovaire rétablissent progressivement leur fonctionnement physiologique. Un allongement de la période d'attente volontaire laisse donc le temps à ces organes de reprendre une activité normale à la suite du vêlage (ELMETWALLY, 2018). Enfin, certaines études suggèrent que la fertilité est améliorée quand le nombre d'œstrus *post-partum* avant insémination augmente ((BUTLER & SMITH, 1989) ; (FULKERSON, 1984)), venant appuyer l'intérêt d'un allongement de l'IVIA₁.

3.2.3. Stress thermique

Les fortes chaleurs ont un effet néfaste sur le développement folliculaire. Le stress thermique affecte notamment les stades précoces de développement tels que les jeunes follicules antraux et les altérations produites vont ensuite se répercuter sur la production hormonale des follicules pré-ovulatoires. En effet, ces follicules altérés vont être moins sensibles aux stimulations des gonadotropines et sécréter moins d'androstenedione et d'E2. Par conséquent, on observe une réduction de la libération pulsatile de LH et du pic de LH, à l'origine d'un dysfonctionnement de l'ovulation et une réduction des capacités de l'ovocyte à être fertilisé et se développer en embryon (ROTH, 2017).

Ces différents phénomènes expliquent ainsi la baisse de fertilité observée dans les cheptels bovins durant les mois d'été / début d'automne et lors des périodes de grande chaleur ((FAUST, et al., 1988) ; (NABENISHI, et al., 2011)).

De plus, Badinga et al. ont observé que les génisses étaient moins impactées par ce stress thermique que les vaches en lactation. Un effet de la température sur la fertilité a ainsi été noté au-delà de 30°C chez les vaches en lactation contre 35°C chez les génisses (BADINGA, et al., 1985). Cette différence serait liée à la moindre capacité des vaches en lactation (plus particulièrement les vaches hautes productrices) à maintenir une température corporelle normale dans des conditions de stress thermique du fait de la chaleur produite par le métabolisme associé à la production laitière (KADZERE, et al., 2002).

3.2.4. Quantité de protéines dégradables dans le rumen

Certaines pratiques d'élevage favorisent l'augmentation de la quantité de protéines dans la ration pour maximiser la production laitière des vaches. Cependant cette conduite semblerait avoir un effet négatif sur la fertilité, notamment quand le régime alimentaire dépasse les quantités en protéines dégradables requises dans le rumen. En effet, un excès de protéines est à l'origine d'une élévation de l'ammoniac, de l'urée et d'autres composés azotés dans les tissus et les fluides (notamment reproducteurs). L'ammoniac est ensuite détoxifié en urée par le foie, avec une capacité maximale de recyclage de 2mmol/min par kg de foie (CANFIELD, et al., 1990). Ces molécules ont malheureusement un effet toxique sur le sperme, les ovocytes, l'embryon (SALO, 2018) et un effet délétère sur la santé de l'appareil génital (métrite, kyste ovarien), notamment par dépression du système immunitaire (CANFIELD, et al., 1990). Leur accumulation dans l'organisme est donc un réel problème.

Afin d'évaluer cet excès d'azote, il est courant de mesurer la concentration en urée dans le sang ou dans le lait (plus pratique et non invasif). Des études ont alors été menées dans le but d'établir des seuils de concentration d'urée au-delà desquels les effets sur la fertilité de l'animal sont notables. Dans leur méta-analyse, Raboisson et al. ont ainsi proposé une concentration en urée seuil dans le lait de 420mg/L (RABOISSON, et al., 2017).

3.3. Facteurs non étudiés dans la partie expérimentale

Ces facteurs n'ont pas pu être étudiés dans le cadre de la partie expérimentale, soit par complexité/faisabilité des mesures, soit par absence de données disponibles. Cependant, il s'agit de facteurs qui sont intéressants voire indispensables à prendre en compte dans la gestion de la fertilité des animaux. C'est pourquoi ils sont présentés et détaillés dans cette sous-partie.

3.3.1. Génétique / Race

Tout d'abord, la fertilité du troupeau varie selon les races bovines. Ainsi, les races Holstein ou Brown swiss ont une fertilité moindre comparée à la race Jersiaise. De même, Bieber et al. ont montré que des races bovines locales dans plusieurs pays européens avaient des performances de reproduction meilleures (notamment un nombre d'IA par vache plus faible) que les races Holstein et Brown swiss dans ces mêmes pays (BIEBER, et al., 2018). Ces différences sont probablement reliées à la production laitière et la capacité de thermorégulation de ces différentes races (les races hautes productrices étant plus sensibles au stress thermique) (BADINGA, et al., 1985).

Ensuite, les améliorations génétiques entrevues à la fin du siècle dernier ont permis d'accroître de façon conséquente la production laitière des animaux. Mais cette pratique est depuis peu pointée du doigt. En effet, son utilisation excessive a engendré certains « dommages collatéraux », notamment l'impact négatif sur les performances de reproduction dû à des corrélations génétiques défavorables (MIGLIOR, et al., 2017). Ainsi, une hausse de l'index génétique lié à la production laitière est associée à une baisse du taux de conception à la première insémination (IA₁) (GRIMARD, et al., 2006). Il a même été suggéré que ces améliorations génétiques dans la race Prim'Holstein expliqueraient 30 à 50% de la baisse observée du taux de conception à l'IA₁ (GRIMARD, et al., 2006).

Il paraît alors indispensable de réorienter la sélection génétique pour augmenter les performances de reproduction du cheptel. Mais l'héritabilité des paramètres associés est faible et leur mesure compliquée du fait du manque de données. Cependant, d'autres caractères génétiques pourraient être utilisés comme indicateurs. Miglior et al. révèlent ainsi que la NEC ou encore le profil en acide gras dans le lait ont été proposés dans cette optique (MIGLIOR, et al., 2017).

3.3.2. Technique d'insémination

Le rôle de l'inséminateur dans la fertilité des animaux est également à mettre en avant.

Tout d'abord, on observe une variation significative du taux de non-retour en chaleurs selon la technicité et l'expérience de l'inséminateur (MACKENNA, et al., 1990). De même, les chances de fécondation sont nettement augmentées si le manipulateur des paillettes de semence est un technicien de centre d'insémination et non l'éleveur (DALTON, et al., 2010).

La réussite d'un inséminateur repose essentiellement sur sa capacité à déposer les semences au bon niveau dans le tractus génital de la vache. De nombreuses études ont ainsi montré que le lieu du dépôt de la semence lors de l'IA influence significativement la fertilité de l'animal. Ainsi, le taux de conception est bien meilleur quand la semence est déposée dans le corps de l'utérus plutôt que dans le cervix (c'est-à-dire quand l'inséminateur n'arrive pas à passer le col de l'utérus). Or, anciennement, seulement 40% des inséminations se faisaient dans le corps de l'utérus (GWAZDAUSKAS, et al., 1986).

On notera cependant que d'autres études comme celle de McKenna et al. ne trouvent pas de différences significatives entre les taux de conception selon le lieu de dépôt (MACKENNA, et al., 1990).

3.3.3. Moment de l'insémination animale par rapport à l'œstrus

L'ovulation a lieu $27,6 \pm 5,4$ h après le début des chaleurs (DALTON, et al., 2010) L'ovocyte doit être fécondé dans 8-12h suivant l'ovulation, avec une période optimale autour de 6h, tandis que les spermatozoïdes sont fertiles 30 à 48h (NOAKES, 1997). A cela s'ajoute le temps de transport des spermatozoïdes dans le tractus génital qui oscille entre 6 et 12h (DALTON, et al., 2010).

On comprend alors que l'intervalle de temps entre la manifestation des chaleurs et l'IA a un impact sur la fertilité de l'animal. En étudiant cet effet, Dalton a déterminé qu'une IA réalisée 12h après le début des chaleurs était optimale. En effet, dans son étude, les IA réalisées 24h après le début d'œstrus ont un taux de fécondation élevé mais la qualité des embryons est faible (une dégénérescence embryonnaire probablement due à un ovocyte plus âgé au moment de la fécondation). Au contraire, les IA réalisées dès le début de l'œstrus ont un taux de fécondation faible mais la qualité des embryons est bonne. Ainsi, une IA réalisée 12h après le début des chaleurs semble être un bon compromis (DALTON, et al., 2010) et c'est d'ailleurs cette durée que l'on retrouve dans les recommandations actuelles.

Les résultats de l'étude de Dalton sont représentés dans la **Figure 19** ci-dessous.

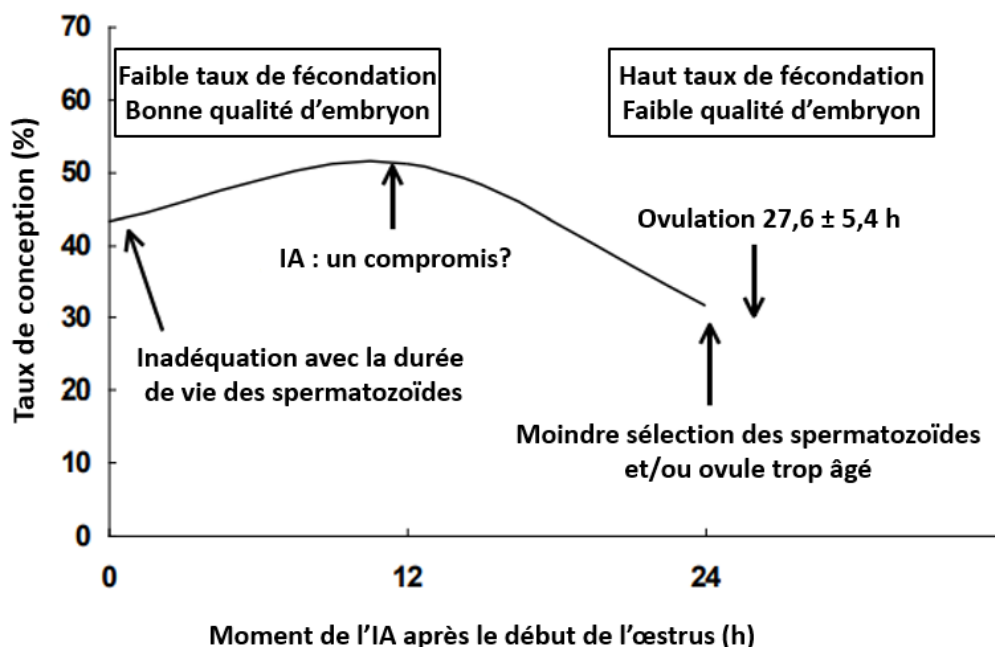


Figure 19 : Influence du moment de l'insémination animale après l'œstrus sur le taux de conception (Source : DALTON et al., 2010)

3.3.4. Importance de l'environnement lors de la gestation pour la future fertilité de la descendance (EVANS, et al., 2012)

Selon Evans et al., le nombre de follicules antraux, ou compte des follicules antraux (CFA), dans les ovaires d'une vache est le reflet des réserves folliculaires totales de l'animal. Il a été mis en évidence que le CFA d'un animal était négativement impacté par la présence d'une maladie ou d'une malnutrition de la mère lors de la gestation. En effet, c'est au cours de sa vie fœtale que l'animal va acquérir l'ensemble de ses réserves folliculaires et toute anomalie au cours de cette période réduit ce pool de follicules. Enfin, le CFA a été directement associé à la fertilité de l'animal. Un CFA faible serait associé à une altération de la différenciation folliculaire, une moindre qualité des ovocytes et une progestéronémie plus faible lors des cycles œstraux. Or, la P4 est indispensable pour une bonne fonction utérine et l'implantation/développement de l'embryon. Ainsi, en mettant en parallèle toutes ces observations, l'état de la mère lors de la gestation est déterminant pour la future fertilité de sa descendance.

3.3.5. Boiterie

La présence d'une boiterie dans la période *post-partum* est un facteur de risque associé à une baisse de la fertilité. Elle rend la détection des chaleurs par l'éleveur plus compliquée car la douleur associée empêche l'animal d'exprimer pleinement ses signes d'œstrus (ALAWNEH, et al., 2011). De plus, la présence d'une boiterie impacte le comportement alimentaire de la vache avec notamment une baisse du temps d'ingestion quotidien (NORRING, et al., 2014). Cela peut donc favoriser le déficit énergétique qui impactera la réussite des futures IA.

Orgel et al. ont ainsi constaté que les vaches atteintes d'une boiterie marquée avaient un risque deux fois plus élevé d'échec à l'IA que les vaches avec une boiterie faible ou absente (ORGEL, et al., 2016). De même, Melendez et al. ont trouvé au cours de leur étude que les vaches souffrant de boiterie avaient un TRIA₁ nettement plus faible (MELENDEZ, et al., 2003).

Deuxième partie : étude expérimentale

L'objectif de ce travail est d'étudier l'impact de facteurs pouvant influencer la fertilité des vaches laitières et la réussite à l'insémination après utilisation d'un protocole Ovsynch. Cette analyse a été réalisée à partir d'une base de données issue de suivis de reproduction d'une clinique bretonne.

4. Matériels et méthodes

4.1. Sélection des animaux et des élevages

Les élevages intégrés dans cette étude font partie de la clientèle de la clinique VET&SPHERE de Malestroit (44). Ils sont accompagnés dans le cadre d'un suivi de reproduction par les vétérinaires de la clinique.

Le choix des élevages a été réalisé en collaboration avec le Dr Dominique Champenois et s'est porté sur les élevages étant vus au moins 11 fois par an en suivi, pratiquant le protocole Ovsynch dans leur programme de reproduction et ayant un suivi complet permettant d'avoir un maximum de données à étudier. Au sein de ces élevages, seules les vaches ayant eu ce protocole ont été sélectionnées pour cette étude.

4.2. Collecte des données / choix des paramètres

4.2.1. Cadre général

L'étude s'est concentrée sur les protocoles réalisés entre le 1^{er} janvier 2019 et le 30 juin 2020. Cet intervalle de temps a été choisi pour avoir un maximum de données mais aussi pour n'avoir dans cette étude que des individus/protocoles dont on pouvait savoir si l'IA avait été fécondante ou non.

Les vétérinaires utilisent le logiciel DSA® dans le cadre de leur suivi de reproduction en clientèle. Ce logiciel leur permet d'analyser les données de santé et d'évaluer les performances globales des troupeaux suivis tout en tenant des dossiers individuels. Ainsi, les données pour cette étude ont été extraites manuellement pour chaque élevage à partir de son dossier informatique puis insérées dans un tableur Excel®.

Au total, sur les 26 élevages intégrés dans l'étude, les informations de 2530 vaches ayant reçu un protocole Ovsynch ont été récupérées sur la période choisie.

4.2.2. Choix des paramètres

Un travail préliminaire a permis de répertorier un ensemble de facteurs susceptible d'influencer la fertilité des vaches (cf. partie 3.). Parmi ces facteurs, certains n'ont pas été retenus pour l'étude, soit parce que les paramètres ou les mesures associés n'étaient pas disponibles sur le logiciel, soit parce qu'ils étaient trop complexes à étudier (cf. partie 3.3.).

Ainsi, à partir des facteurs retenus (cf. parties 3.1. et 3.2.), un certain nombre de paramètres ont été sélectionnés pour pouvoir les caractériser, comme présenté dans le Tableau II ci-dessous.

Tableau II : Paramètres associés aux facteurs retenus pour l'étude

Facteurs	Paramètre(s) associé(s)
Âge	<ul style="list-style-type: none"> • Rang de lactation
Production laitière	<ul style="list-style-type: none"> • Dates et production laitière des 3 premiers contrôles laitiers (CL) de la lactation au cours de laquelle le protocole Ovsynch est appliqué ; • Date et production laitière du dernier contrôle laitier avant application du protocole Ovsynch.
Note d'état corporel et déficit énergétique	<ul style="list-style-type: none"> • Dates et valeurs des deux dernières NEC avant le dernier vêlage, de la première NEC après le dernier vêlage et de la dernière NEC avant application du protocole Ovsynch ; • Dates et valeurs de la matière utile (taux protéique (TP) et taux butyreux (TB)) des 3 premiers CL de la lactation au cours de laquelle le protocole Ovsynch est appliqué ; • Date et valeurs de la matière utile du dernier contrôle laitier avant application du protocole Ovsynch ; • Date et valeur du dosage de β-hydroxybutyrates (BHB) sanguins.
Affections <i>péri-partum</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Score vaginal après le dernier vêlage et jour en lait (JEL) au moment de la notation ; • Date des affections <i>péri-partum</i> : dystocie, rétention placentaire, fièvre de lait, métrite, déplacement de caillette.
Quantité de protéines dégradables dans le rumen	<ul style="list-style-type: none"> • Date et taux d'urée du dernier contrôle laitier avant application du protocole Ovsynch.

A ces paramètres se sont rajoutés ceux nécessaires pour caractériser le protocole Ovsynch, mais aussi l'IVIA, la saison d'IA (associée au stress thermique) et le rang d'IA :

- Dates de prescription et de début du protocole ;
- Date d'IA prévue par le protocole ;
- Une IA a-t-elle été réalisée à la date prévue par le protocole ? Si oui, cette IA a-t-elle été fécondante ? ;
- Y a-t-il eu une IA entre le début du protocole et la date d'IA prévue ? Si oui, quelle a été la date de cette IA et a-t-elle été fécondante ? ;
- Date de la première IA après la date d'IA prévue (si pas d'IA réalisée à la date prévue ou si elle n'a pas été fécondante) ? Si oui, a-t-elle été fécondante ? ;
- Date de l'IA₁ de la lactation au cours de laquelle le protocole Ovsynch est appliqué ;
- La première injection hormonale du protocole a-t-elle été réalisée par le vétérinaire ou l'éleveur ?

Enfin, dans le but d'observer l'efficacité du protocole en fonction de l'état du cycle ovarien à sa mise en place mais aussi pour évaluer l'effet troupeau, deux autres paramètres ont été intégrés :

- Organites présents sur les ovaires droit et gauche au moment de la prescription du protocole (follicule, corps jaune, corps hémorragique, kyste folliculaire, kyste lutéal) et leur taille ;
- Elevage dans lequel était présent l'animal sur lequel le protocole Ovsynch a été réalisé.

4.3. Traitement des données

4.3.1. Vaches sélectionnées pour l'étude statistique et constitution des groupes

Au vu du nombre de cas différents observés en analysant l'intervalle entre la date d'IA prévue par le protocole et la date d'IA effective, un tri a été effectué parmi les animaux. Ainsi, n'ont été intégrées dans l'étude statistique que les vaches :

- dont la date d'IA effective était identique à la date d'IA prévue par le protocole (lot J0) ;
- dont la date d'IA effective était la veille ou l'avant-veille de la date d'IA prévue par le protocole (lot J-1/J-2). Il a ainsi été fait l'hypothèse que les vaches de ce groupe avaient été inséminées sur détection des chaleurs juste avant la date d'IA programmée.

Les autres cas n'ont pas été pris en compte car :

- soit l'IA était réalisée trop tôt dans le protocole : faire l'IA avant l'injection de PGF2 α ou au même moment n'a aucun intérêt car le corps jaune en place empêche l'ovulation d'avoir lieu ;
- soit l'IA était réalisée trop tard par rapport à ce qui est prévu par le protocole : l'ovocyte issu de l'ovulation n'est alors plus viable au moment de l'IA.

Finalement, 1368 vaches ont été incluses dans l'étude statistique (1205 dans le groupe J0 et 163 dans le groupe J-1/J-2).

4.3.2. Variables retenues pour l'analyse statistiques et formation des classes associées

Un ensemble de variables a été retenu dans le cadre de notre étude pour faire l'objet d'une analyse statistique. Ces variables ont été divisées en classes afin de faciliter cette analyse.

4.3.2.1. Parité

Les classes de la variable « **rang de lactation** » ont été construites pour étudier et comparer chaque rang de lactation (jusqu'à 4 lactations et plus) mais aussi pour confronter les vaches primipares aux multipares, comme présenté dans le Tableau III ci-contre.

Tableau III : Classes de la variable « rang de lactation »

Variable	Classes
Rang de lactation	1
	2
	3
	≥ 4
	1
	> 1

4.3.2.2. Variables associées à la production laitière

Deux périodes clés ont été étudiées concernant la production laitière : la période autour du pic de lactation et la période avant application du protocole GPG. Les classes associées aux deux variables étudiées sont présentées dans le Tableau IV ci-dessous. La limite supérieure a été fixée à 40kg/j, en considérant qu'au-delà de cette valeur on pouvait considérer les vaches comme « hautes productrices ». La limite inférieure a été quant à elle fixée à 30kg/j, correspondant à une production journalière moyenne chez les vaches laitières.

Tableau IV : Classes des variables associées à la production laitière

Variables	Classes
Production lors du dernier contrôle laitier avant protocole (kg/j)	< 30
	[30 ; 40[
	≥ 40
Maximum de production autour du pic de lactation (kg/j)	< 30
	[30 ; 40[
	≥ 40

La variable « **maximum de production autour du pic de lactation** » a été construite en étudiant les productions laitières sur les 3 premiers CL, recouvrant ainsi les 3-4 premiers mois de lactation des vaches.

4.3.2.3. Variables associées aux affections *péri-partum*

Au sein de la clinique VET&SPHERE, les vétérinaires affectent un score vaginal à chaque vache examinée en *post-partum* pour évaluer la présence d'une infection du tractus génital à la suite du vêlage. Les notes vont de 0 (propre) à 4 (sécrétions purulentes). Les classes de la variable « **score vaginal** » ont ainsi été construites dans le but de comparer chaque note entre elles. Une autre comparaison entre une note inférieure à 2 et une note supérieure ou égale à 2 a été réalisée, les vétérinaires mettant en place un traitement antibiotique intra-utérin à partir d'une note de 2/4. L'ensemble de ces classes est présenté dans le Tableau V ci-contre.

Tableau V : Classes de la variable « score vaginal »

Variable	Classes
Score vaginal	0
	1
	2
	3
	4
	< 2
	≥ 2

L'influence de diverses affections *péri/post-partum* a également été analysée. Seules les affections suivantes ont été étudiées séparément car les effectifs associés étaient assez grands pour permettre l'analyse : rétention placentaire, fièvre de lait et métrite. Les classes de la variable « **affection *péri/post-partum*** » ont ainsi été construites pour comparer l'impact de la présence ou de l'absence des différentes affections citées précédemment, mais aussi pour étudier l'influence de l'apparition d'une affection quelconque sur les performances de reproduction, comme présenté dans le Tableau VI ci-dessous.

Tableau VI : Classes de la variable « affection *péri/post-partum* »

Variable	Classes
Affections <i>péri/post-partum</i>	Rétention placentaire
	Absence de rétention placentaire
	Fièvre de lait
	Absence de fièvre de lait
	Métrite
	Absence de métrite
	Aucune affection
	Au moins une affection

4.3.2.4. Variables associées au déficit énergétique et à la NEC

Les variables sélectionnées pour étudier l'influence du déficit énergétique et de la NEC sur le taux de conception des vaches ont permis là aussi de cibler deux périodes clés : la période autour du pic de lactation et la période avant application du protocole GPG.

4.3.2.4.1. Variables associées à la note d'état corporel

Les classes des deux variables en lien avec la NEC sont présentées dans le Tableau VII ci-dessous.

Tableau VII : Classes des variables associées à la note d'état corporel

Variabes	Classes
Note d'état corporel avant protocole (points)	< 2,5
	[2,5 ; 3[
	[3 ; 3,5[
	≥ 3,5
Chute de note d'état corporel après vêlage (points)	< 0,5
	[0,5 ; 1[
	≥ 1
	< 1
	≥ 1

Les classes de la variable « **NEC avant protocole** » ont été construites en lien avec les valeurs de NEC citées plus haut dans ce document. On retrouve ainsi les notes de 2,5/5, 3/5 et 3,5/5 pour séparer les classes.

La variable « **chute de NEC après vêlage** » a intégré la dernière NEC avant vêlage évaluée au plus 60 jours avant le part et la première NEC après vêlage évaluée entre 20 et 70 jours *post-partum*. Les classes de cette variable ont servi là aussi à étudier le taux de conception autour de valeurs proposées dans les études citées précédemment, notamment la chute d'un point de NEC à ne pas dépasser.

4.3.2.4.2. β -hydroxybutyrates *post-partum*

Les valeurs de BHB intégrées dans cette variable ont été celles dont la mesure avait été réalisée dans les 3 premières semaines *post-partum*. Les deux classes ont été construites pour comparer les performances de reproduction autour d'une valeur seuil de 1,2 mmol/L, comme présenté ci-dessous dans le Tableau VIII. Cette valeur est classiquement retrouvée dans les études comme limite à partir de laquelle on observe un impact sur les performances de reproduction.

Tableau VIII : Classes de la variable « β -hydroxybutyrates en début de lactation »

Variables	Classes
β -hydroxybutyrates en début de lactation (mmol/L)	< 1,2
	\geq 1,2

4.3.2.4.3. Variation de production avant le pic de lactation

Cette variable a intégré les productions laitières au 1^{er} CL mesurées dans les 30 premiers jours *post-partum* et les productions laitières au 2^e CL mesurées entre 31 et 60 jours *post-partum*. L'objectif a été ici de regarder l'impact d'une chute de production avant le pic de lactation (signe potentiel d'un déficit énergétique *post-partum*), période au cours de laquelle la production doit normalement augmenter. Les classes y sont présentées dans le Tableau IX ci-dessous.

Tableau IX : Classes de la variable « variation de production avant le pic de lactation »

Variables	Classes
Variation de production avant le pic de lactation	Augmentation
	Chute

4.3.2.4.4. Variables associées au taux protéique

La limite/classe inférieure de la plupart des variables associées au TP du lait a été fixée à 28g/kg car nous considérons qu'en dessous de ce taux, l'individu se trouvait dans un état de déficit énergétique. La limite/classe supérieure de la plupart des variables a été fixée à 32g/kg car il s'agit d'un niveau standard de TP. Les classes intermédiaires ont ensuite été construites par intervalle de 2g/kg, comme présenté dans le Tableau X page suivante.

Tableau X : Classes des variables associées au taux protéique

Variables	Classes	Variables	Classes
Taux protéique entre 0 et 30 jours en lait (g/kg)	< 28	Taux protéique minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 28
	[28 ; 30[		[28 ; 30[
	[30 ; 32[		≥ 30
	≥ 32		
Taux protéique entre 30 et 60 jours en lait (g/kg)	< 28	Taux protéique maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 30
	[28 ; 30[		[30 ; 32[
	[30 ; 32[		≥ 32
	≥ 32		< 32
	≥ 32		
	< 33		
Taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole (g/kg)	< 28		≥ 33
	[28 ; 30[
	[30 ; 32[
	≥ 32		

Concernant les variables « **TP minimal sur les 3 premiers CL de la lactation** » et « **TP maximal sur les 3 premiers CL de la lactation** », nous avons décidé de fixer la limite supérieure (pour la première variable) et inférieure (pour la seconde variable) à 30 g/kg. En effet, il nous paraissait cohérent de fixer des classes plus faibles pour la variable correspondant au TP minimal, comparées aux classes de la variable associée au TP maximal. Or 30g/kg était la valeur à mi-chemin entre 28 et 32 g/kg, valeurs limites utilisées pour les variables précédentes. De plus, pour cette dernière variable, en complément de la comparaison intervalle par intervalle, d'autres analyses ont été réalisées en fixant un seuil à 32g/kg puis 33g/kg (seuil intéressant pour l'analyse statistique).

4.3.2.4.5. Variables associées au rapport taux butyreux/taux protéique

Les classes des variables en lien avec le rapport TB/TP ont été construites autour d'un seuil fixé à 1,5, comme présenté dans le Tableau XI ci-dessous. En effet, il est suggéré qu'au-delà d'un TB/TP égal à 1,5, l'animal se trouve dans un état de déficit énergétique.

Tableau XI : Classes des variables associées au rapport taux butyreux/taux protéique

Variables	Classes
Rapport taux butyreux/taux protéique entre 0 et 30 jours en lait	< 1,5
	≥ 1,5
Rapport taux butyreux/taux protéique entre 30 et 60 jours en lait	< 1,5
	≥ 1,5
Rapport taux butyreux/taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole	< 1,5
	≥ 1,5

4.3.2.4.6. Variables associées au taux butyreux

Les classes des variables en lien avec le TB du lait, présentées ci-dessous dans le Tableau XII, ont été construites afin d'avoir des groupes relativement homogènes. Ainsi, dans la plupart des variables ci-dessus, la limite/classe inférieure a été fixée à 35g/kg et la limite/classe supérieure à 45g/kg. Les classes intermédiaires ont ensuite été construites sur des intervalles de 5g/kg.

Tableau XII : Classes des variables associées au taux butyreux

Variables	Classes	Variables	Classes
Taux butyreux entre 0 et 30 jours en lait (g/kg)	< 35	Taux butyreux lors du dernier contrôle laitier avant protocole (g/kg)	< 35
	[35 ; 40[		[35 ; 40[
	[40 ; 45[		[40 ; 45[
	≥ 45		≥ 45
Taux butyreux entre 30 et 60 JEL (g/kg)	< 35		< 40
	[35 ; 40[		≥ 40
	[40 ; 45[	Taux butyreux minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 35
	≥ 45		[35 ; 38[
			≥ 38
		Taux butyreux maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 40
			[40 ; 45[
			≥ 45

Concernant la variable « **TB lors du dernier CL avant protocole** », en plus d'une comparaison intervalle par intervalle, une autre analyse a été réalisée en fixant un seuil à 40g/kg (seuil intéressant pour l'analyse statistique).

4.3.2.5. Variable associée aux apports azotés

Les classes de cette variable, présentées dans le Tableau XIII ci-dessous, ont été construites autour des valeurs 100 et 150 mg/L. Bien qu'inférieures à 200 mg/L, valeur que l'on retrouve fréquemment citée comme limite inférieure à ne pas dépasser en taux d'urée, ces valeurs ont été choisies car elles correspondaient aux taux d'urée enregistrés chez les animaux sélectionnés pour l'étude (très peu de taux supérieurs à 200 mg/L).

Tableau XIII : Classes de la variable « urée lors du dernier contrôle laitier avant protocole »

Variable	Classes
Urée lors du dernier contrôle laitier avant protocole (mg/L)	< 100
	[100 ; 150[
	≥ 150

4.3.2.6. Saison d'insémination

Les classes de cette variable ont été construites afin d'analyser l'influence de la saison d'insémination sous différents angles. Les quatre saisons ont d'abord été comparées entre elles sans prendre en compte l'année. Une seconde analyse a été réalisée pour comparer la saison estivale aux autres saisons. Enfin, les quatre saisons ont été comparées entre elles en prenant en compte l'année pour objectiver des différences entre 2019 et 2020. A noter que pour cette dernière comparaison, l'hiver 2019 a été amputé de 10 jours (correspondants aux derniers jours de décembre 2018) tandis que l'été 2020 n'a pas été étudié car représenté par seulement 10 jours dans la période d'étude.

L'ensemble de ces classes est présenté dans le Tableau XIV ci-contre.

Tableau XIV : Classes de la variable « saison au moment de l'insémination animale »

Variable	Classes
Saison au moment de l'insémination animale	Été
	Automne
	Hiver
	Printemps
	Été
	Automne + Hiver + Printemps
	Hiver 2019 (-10 jours)
	Printemps 2019
	Eté 2019
	Automne 2019
	Hiver 2020
	Printemps 2020

4.3.2.7. Intervalle vêlage-insémination animale

Les classes de cette variable, présentées dans le Tableau XV ci-dessous, ont été construites afin d'avoir des effectifs homogènes. La première classe comprenait les 3 premiers mois de lactation, correspondant à la période autour du pic de lactation qui est la plus à risque concernant le statut énergétique de l'animal. Les classes suivantes représentaient des intervalles de 1 mois car les effectifs y sont conséquents. Enfin, la dernière classe correspondait aux inséminations réalisées au-delà de 5 mois *post-partum*, représentant un intervalle vêlage-IA déjà important.

Tableau XV : Classes de la variable « jours en lait au moment de l'insémination animale »

Variable	Classes
Jours en lait au moment de l'insémination animale (j)	< 90
	[90 ; 119]
	[120 ; 149]
	≥ 150

4.3.2.8. Variables associées aux modalités d'application du protocole et au moment du cycle ovarien lors de son initiation

Les variables en lien avec les modalités d'application du protocole ainsi que leurs classes sont présentées dans le Tableau XVI ci-contre.

Tableau XVI : Classes des variables associées aux modalités d'application du protocole Ovsynch

Variables	Classes
Délai prescription-début de protocole (j)	[0 ; 4]
	[5 ; 11]
	[12 ; 18]
Protocole	GPG
	I-GPG
	GPG avec délai de 0j
	I-GPG

Les classes de la variable « **délai prescription-protocole** » ont été construites selon les propositions du vétérinaire réalisant les protocoles au vu des délais qu'il avait l'habitude d'observer sur le terrain. En effet, quand un corps jaune est observé lors de l'échographie mais que l'éleveur ne souhaite pas débiter le protocole le jour-même (souvent pour éviter d'avoir des injections à faire le week-end), les vétérinaires conseillent de ne pas dépasser un délai de 4 jours. En cas d'absence de corps jaune lors de la prescription, les vétérinaires conseillent de surveiller les chaleurs de l'animal et débiter le protocole une semaine plus tard, d'où un délai de 5 à 11 jours. Enfin, un délai de 12 à 18 jours est observé en général après une unique injection de PGF2 α .

Le protocole GPG réalisé sur le terrain a été divisé en deux classes selon les modalités de réalisation :

- GPG : la première injection du protocole est réalisée par l'éleveur (pas forcément le jour de la prescription du protocole) ;
- I-GPG : la première injection du protocole est réalisée par le vétérinaire le jour de la prescription.

Ainsi, dans la variable « **protocole** », une première comparaison a été effectuée entre ces deux modalités de protocole tandis qu'une seconde a été réalisée entre « I-GPG » et « GPG » débuté le jour de la prescription. Cette dernière a été effectuée afin d'observer si, pour un protocole démarré le jour de la prescription, la personne réalisant la première injection avait une influence.

Les variables présentées page suivante dans le Tableau XVII ont été analysées pour tenter d'objectiver l'influence du statut du cycle ovarien lors de l'application du protocole sur la réussite à l'IA. Pour cela, des hypothèses ont été formulées selon la présence/absence de corps jaune ou de follicule dominant ainsi que le délai entre l'observation de ces organites et le début du protocole.

Tableau XVII : Classes des variables associées aux organites ovariens et au moment du cycle ovarien lors de l'initiation du protocole Ovsynch

Variables	Classes
Corps jaune lors de la prescription	Absent
	Présent
Follicule dominant lors de la prescription	Absent
	Présent
Délai prescription-début de protocole avec absence d'un corps jaune au moment de la prescription (j)	[0 ; 4]
	[5 ; 11]

Dans la variable « **follicule dominant lors de la prescription** », a été considéré comme « dominant » tout follicule d'une taille supérieure ou égale à 1 cm.

Pour la variable « **délai prescription-protocole avec absence d'un corps jaune au moment de la prescription** », seuls les protocoles avec un délai inférieur à 12 jours ont été étudiés car nous avons considéré qu'au-delà il serait plus délicat de faire une hypothèse concernant le moment du cycle où l'on se trouve en début de protocole. Le même type d'étude en présence d'un corps jaune n'a pas été réalisée. En effet, la période d'activité de ce dernier au cours du cycle ovarien est trop longue pour pouvoir émettre des hypothèses concernant le moment exact du cycle où nous nous situons.

4.3.2.9. Elevage

Les performances de reproduction d'un élevage à un autre pouvant fortement évoluer (notamment selon la gestion de l'élevage), il semblait primordial d'étudier l'effet troupeau.

Seuls 21 élevages sur les 26 initiaux ont été intégrés dans l'analyse statistique de cette variable car les effectifs dans 5 élevages étaient trop petits pour permettre l'analyse.

4.3.2.10. Rang d'insémination animale

Afin d'étudier l'influence du rang d'IA sur le taux de conception des animaux à la suite d'un protocole Ovsynch, les performances à l'IA₁ ont été comparées aux performances des IA suivantes, comme présenté dans le Tableau XVIII ci-contre.

Tableau XVIII : Classes de la variable « rang de l'insémination animale »

Variable	Classes
Rang de l'insémination animale issue du protocole Ovsynch	1
	> 1

5. Résultats et discussion

5.1. Analyse descriptive de l'échantillon

5.1.1. Elevages

Les animaux intégrés dans l'étude appartenaient à 26 élevages. Les effectifs sélectionnés dans chaque élevage variaient entre 2 et 176 individus, représentant respectivement 0,1% à 12,9% de l'échantillon étudié. De plus, 7 élevages concentraient plus de la moitié de l'échantillon étudié. Les effectifs des différents élevages ont été représentés dans la Figure 20 ci-contre.

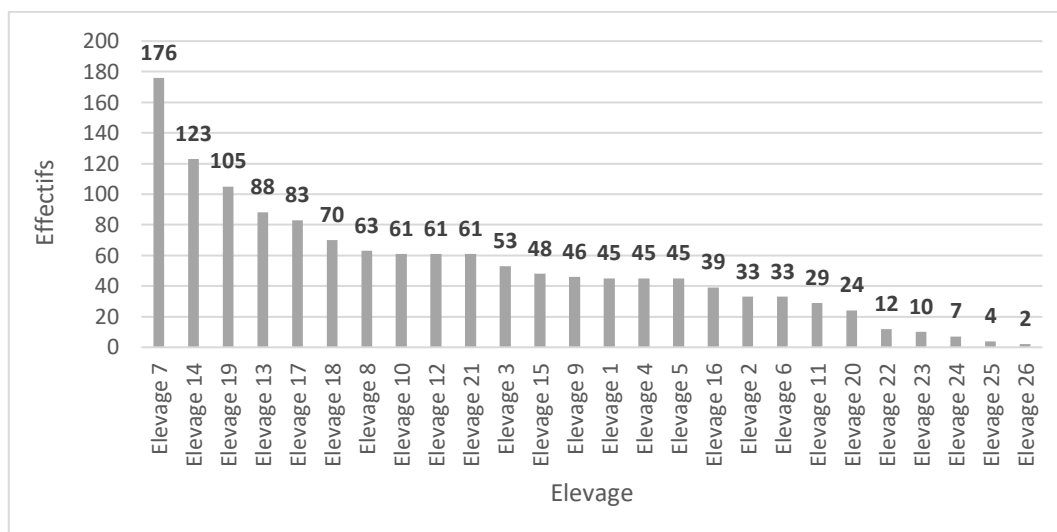


Figure 20 : Effectifs des élevages de l'étude

5.1.2. Parité / rang de lactation

Au sein de notre échantillon, nous avons relevé 28,4% de primipares (389/1368) contre 71,6% de multipares (979/1368). Cela nous rapprochait du rapport un tiers de primipares / deux tiers de multipares, que l'on retrouve communément en élevage, en particulier en race Prim'Holstein. Le rang moyen de lactation de la population étudiée était de 2,5 lactations. La répartition des rangs de lactation est présentée plus précisément dans la Figure 21 ci-dessous.

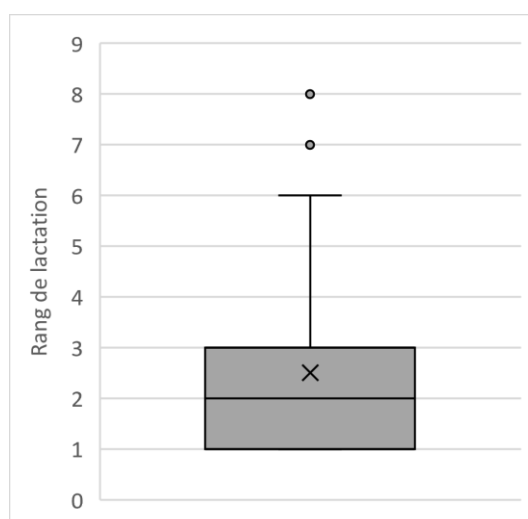


Figure 21 : Représentation graphique des rangs de lactation de la population étudiée

5.1.3. Production laitière

Afin de présenter la production laitière de l'échantillon, nous avons choisi de prendre les valeurs maximales de production journalière, de TP et de TB au pic de lactation. A noter que seuls 739 animaux avaient des données de production au CL et que 738 avaient des données de matière utile au CL. Ainsi, la production maximale journalière moyenne au pic de lactation était de 38,6kg de lait, avec des TP et TB maximum moyen sur cette période de 32,4g/kg et 43,8g/kg respectivement. La description plus précise de ces données est résumée dans les Figures 22 et 23 ci-dessous.

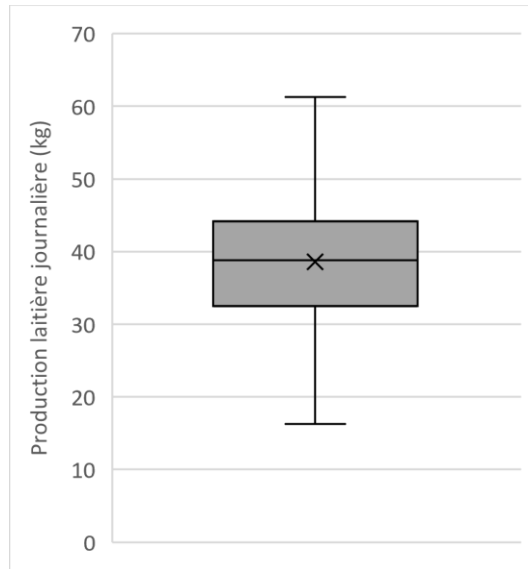


Figure 22 : Représentation graphique de la production laitière au pic de lactation de la population étudiée

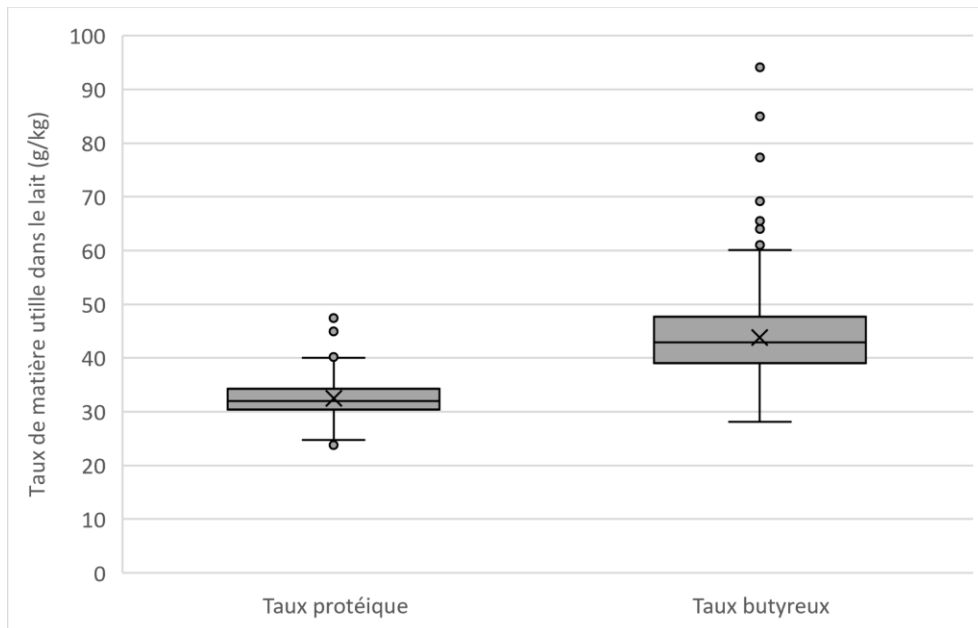


Figure 23 : Représentation graphique du taux protéique et du taux butyreux au pic de lactation de la population étudiée

5.1.4. Modalités d'application du protocole et de l'IA

Parmi les deux modalités de réalisation du protocole sur le terrain, le protocole « GPG » a été réalisée majoritairement avec 76,6% de l'échantillon concerné (1048/1368), contre 23,4% pour le protocole « I-GPG » (320/1368). Ainsi, les trois-quarts du temps, les éleveurs ont débuté eux-mêmes le protocole.

Avant prescription du protocole, afin de décider de la mise en place de ce dernier et éventuellement convenir du jour de début du protocole, une échographie de l'appareil reproducteur était réalisée pour observer les organites présents sur les deux ovaires. Nous avons constaté ainsi que 80,5% (1102/1368) des individus de l'échantillon avaient un corps jaune avant prescription du protocole et 36,2% (495/1368) des vaches avaient un follicule dominant avant prescription.

A partir des dates de réalisation de l'IA, les animaux ont été regroupés par saison d'IA. Nous avons observé une certaine disparité avec jusqu'à 34,7% de l'échantillon inséminés au printemps (476/1368) et une période de creux en automne avec seulement 16,9% des individus inséminés (231/1368), comme le montre la Figure 24 ci-dessous. Il est cependant important de rappeler que la période d'étude s'est étendu sur un an et demi. Ainsi, un seul automne et un seul été ont été présents sur cette période tandis qu'il y a eu deux printemps et deux hivers.

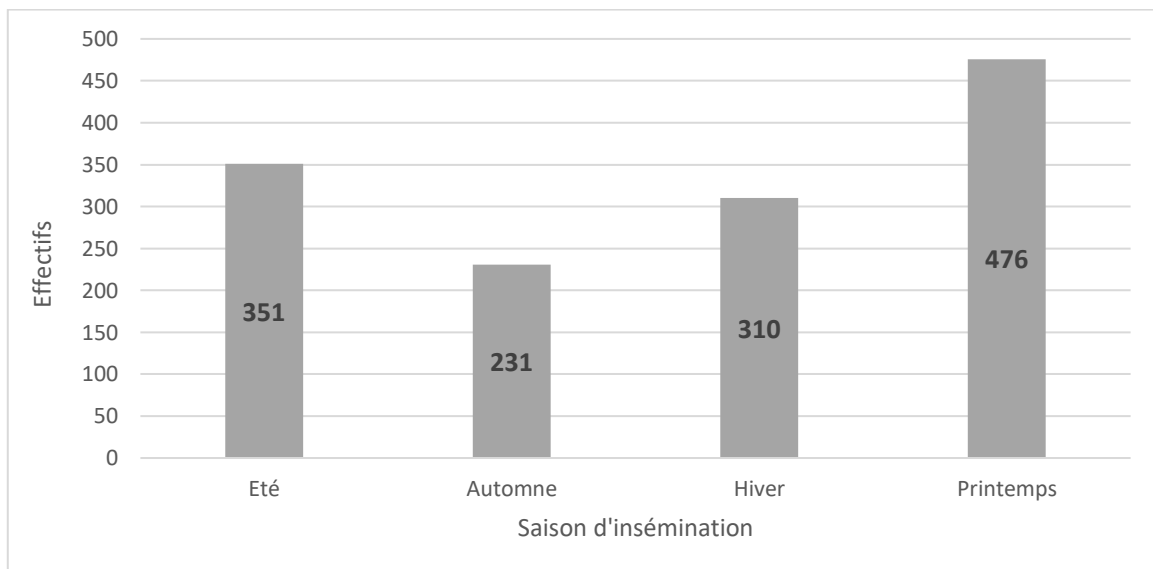


Figure 24 : Effectifs inséminés en fonction de la saison d'insémination

Lors de l'IA suite au protocole Ovsynch, le JEL moyen de la population étudié était de 139,7 jours. La répartition des JEL à l'IA est présentée plus précisément dans la Figure 25 ci-contre.

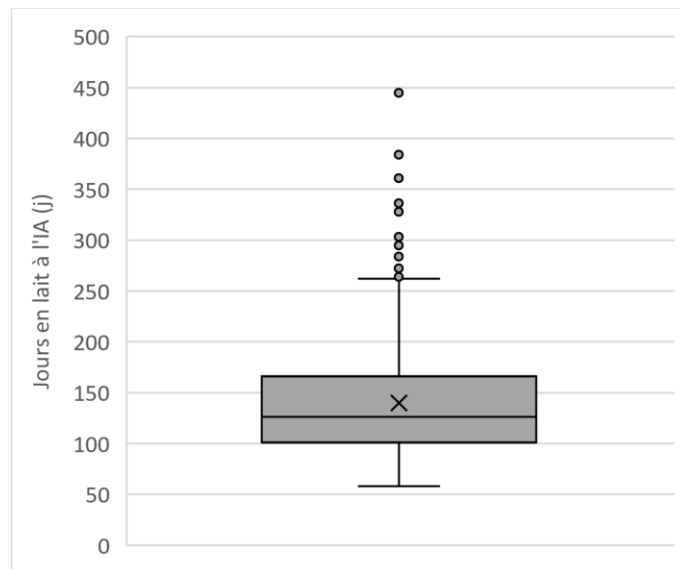


Figure 25 : Représentation graphique du jour en lait à l'insémination animale suite au protocole Ovsynch de la population étudiée

Enfin, le délai moyen prescription-début de protocole était de 2,2 jours. La description plus précise de ce paramètre est résumée ci-dessous dans la Figure 26.

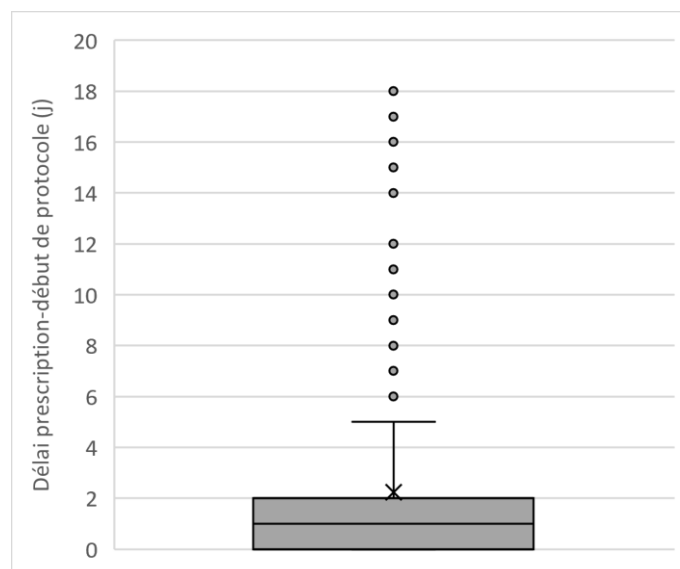


Figure 26 : Représentation graphique du délai prescription-début de protocole de la population étudiée

5.2. Influence des variables étudiées sur les taux de conception

Pour rappel, deux lots d'animaux ont été étudiés :

- Lot J0 : l'IA de ces animaux a été réalisée à la date d'IA prévue par le protocole ;
- Lot J-1/J-2 : l'IA de ces animaux a été réalisée la veille ou l'avant-veille de la date d'IA prévue par le protocole.

Ce dernier lot a été construit en partant de l'hypothèse que, dans ce laps de temps, les éleveurs avaient pu réaliser l'insémination après détection des chaleurs, suite à l'injection de PGF2 α à J7 du protocole. Nous avons ainsi considéré que cette pratique se rapprochait du protocole de base car, dans les deux cas, l'IA était réalisée à la suite de l'initiation d'une nouvelle vague folliculaire et la lyse du ou des corps jaunes : dans le lot J0, l'ovulation du follicule dominant était assurée artificiellement via l'injection de GnRH tandis que, dans le lot J-1/J-2, cette ovulation avait lieu naturellement suite à la lutéolyse du corps jaune. Ce choix reste cependant critiquable car basé sur une hypothèse non vérifiée, mais aussi parce que le protocole n'a pas été réalisé comme il était initialement prévu.

Finalement, cela nous a permis d'agrandir l'échantillon d'étude (lot CUMUL) mais aussi d'étudier si ce type de pratique pouvait avoir un intérêt pour le taux de conception. Cependant, les effectifs du lot J-1/J-2 sont restés nettement plus faibles que ceux du lot J0 (163 vaches dans le premier contre 1205 dans le second) et donc les résultats étaient difficilement interprétables dans cette optique. De ce fait, nous n'avons présenté que les résultats en lien avec la variable « **saïson d'insémination** » pour ce lot.

A noter que les lots J0 et CUMUL ont parfois été présentés ensemble quand les variations de taux de conception étaient similaires dans les deux groupes.

L'ensemble des résultats développés dans cette partie ainsi que les p-value associées sont résumés dans les tableaux en annexe 1 et 2.

5.2.1. Taux de conception global

Le taux de conception global sur l'échantillon étudié est de 31,5% (379/1205) et 31,6% (432/1368) pour respectivement les lots J0 et CUMUL. Ils sont donc relativement proches.

Ces résultats sont inférieurs aux 37,8% de taux de conception observé par MacMillan, aux 38% de Wiltbank et Pursley, ou encore aux 41% obtenus par Nowicki et al. ((MACMILLAN, 2010) ; (NOWICKI, et al., 2017) ; (WILTBANK & PURSLEY, 2014)). Il faut cependant rester critique au moment de comparer nos résultats avec ces différents taux de conception car notre étude a été réalisée à partir de données de terrain obtenues dans des conditions réelles et non dans des conditions expérimentales. Ainsi, la présence de 26 élevages a par exemple pu augmenter la probabilité d'erreurs potentielles de gestion (alimentation) ayant pu altérer les performances de reproduction. De plus, notre travail prend en compte une période d'un an et demi, rendant difficile la mise en place de conditions expérimentales standardisées. Ainsi, la probabilité est plus importante qu'un évènement ait pu altérer le taux de conception de notre étude (ex : canicule).

5.2.2. Influence de la parité

Dans les lots J0 et CUMUL, le taux de conception décroît progressivement lorsque l'âge de la vache augmente, passant de 35-36%, pour les vaches en première lactation, à environ 28% pour celles à 4 lactations ou plus (lot J0 : $p=0,42$; lot CUMUL : $p=0,14$). Ces résultats sont résumés dans la Figure 27 ci-contre.

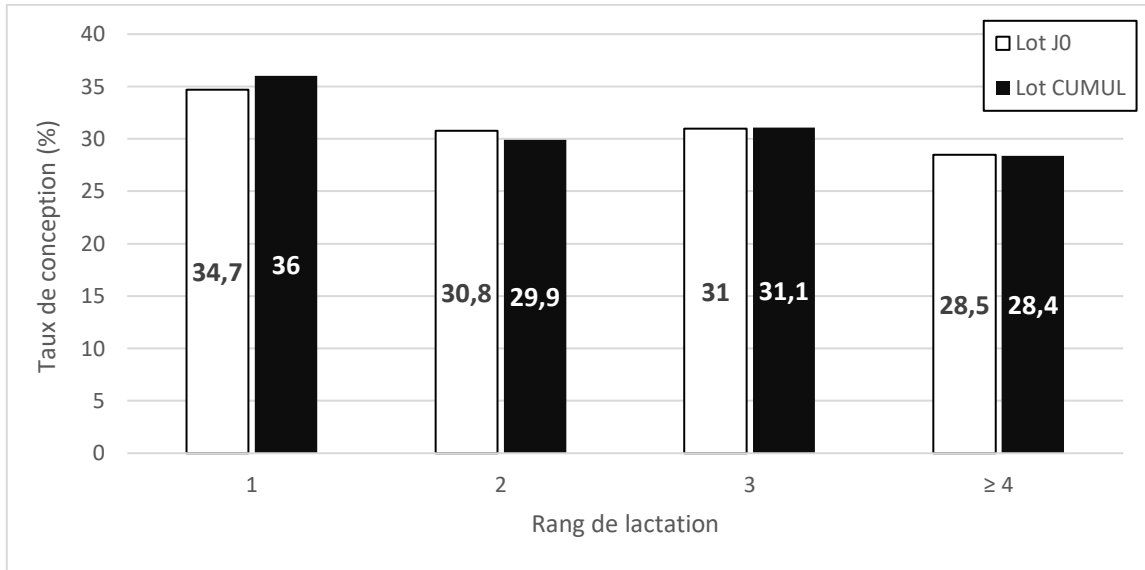


Figure 27 : Taux de conception en fonction du rang de lactation

En comparant les résultats obtenus entre les primipares et les multipares, on observe une chute du taux de conception à partir du deuxième vêlage, comme présenté dans la Figure 28 ci-dessous. Cette chute est notamment significative pour le lot CUMUL avec $p=0,03$ ($p=0,15$ pour le lot J0).

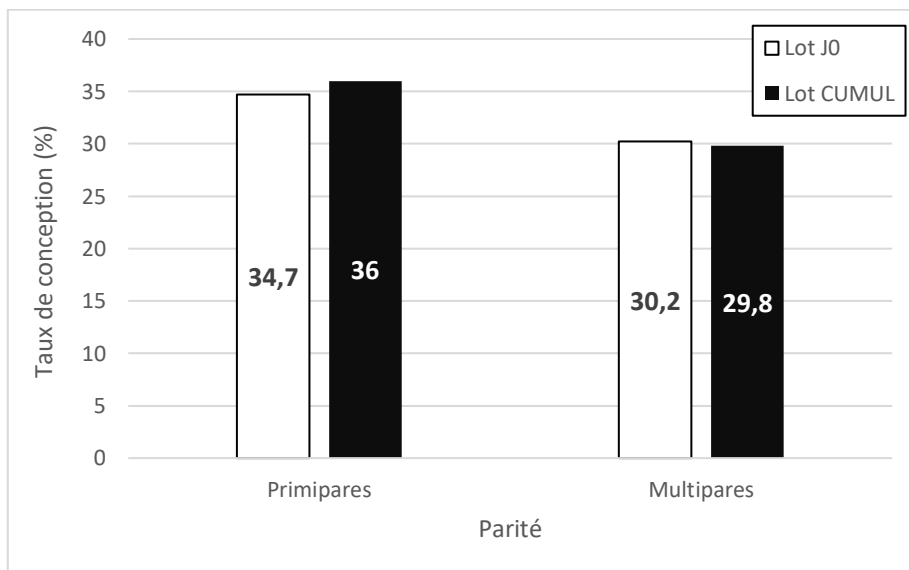


Figure 28 : Taux de conception en fonction de la parité

Nous constatons donc une tendance à la détérioration des performances de reproduction au cours de la carrière de la vache. Ces résultats sont en adéquation avec la majorité des travaux présentés plus haut et ayant étudié ce facteur de variation (cf. partie 3.1.1.). Une différence significative est notamment constatée lorsque l'on compare les primipares et les multipares, comme Santos et al. ont pu l'observer également dans leur étude (SANTOS, et al., 2009).

5.2.3. Influence de la production laitière

En étudiant dans un premier temps l'influence de la production au dernier CL avant protocole, on constate au sein des lots J0 et CUMUL que le taux de conception varie peu quand la production dépasse 30kg de lait journalier, passant de 36% en dessous de 30kg à 34-35% entre 30 et 40 kg de lait. Le taux de conception chute ensuite de façon significative autour de 24% au-delà de 40kg ($p=0,02$ pour le lot J0 et $p=0,01$ pour le lot CUMUL). Ces résultats sont résumés ci-contre dans la Figure 29.

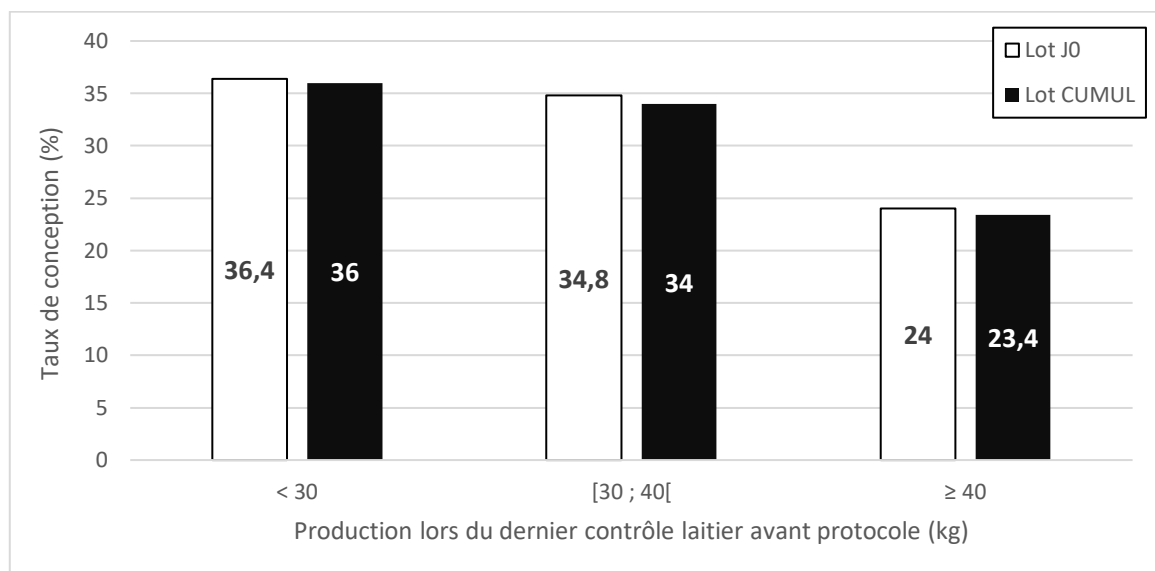


Figure 29 : Taux de conception en fonction de la production laitière au dernier contrôle laitier avant protocole

En nous intéressant dans un second temps à l'étude de l'influence du maximum de production autour du pic de lactation, on observe des variations au sein des lots J0 et CUMUL qui sont quasiment similaires. En-deçà de 40kg de lait journalier, les taux évoluent peu avec respectivement 39,8% et 37,2% en-dessous de 30kg de lait contre environ 38% au-delà de 30kg. Quand la production maximale au pic de lactation dépasse les 40kg, le taux chute de façon significative autour de 25-26% ($p=0,004$ pour le lot J0 et $p=0,001$ pour le lot CUMUL). Les variations de taux de conception de chaque lot pour cette variable sont résumées dans la Figure 30 page suivante.

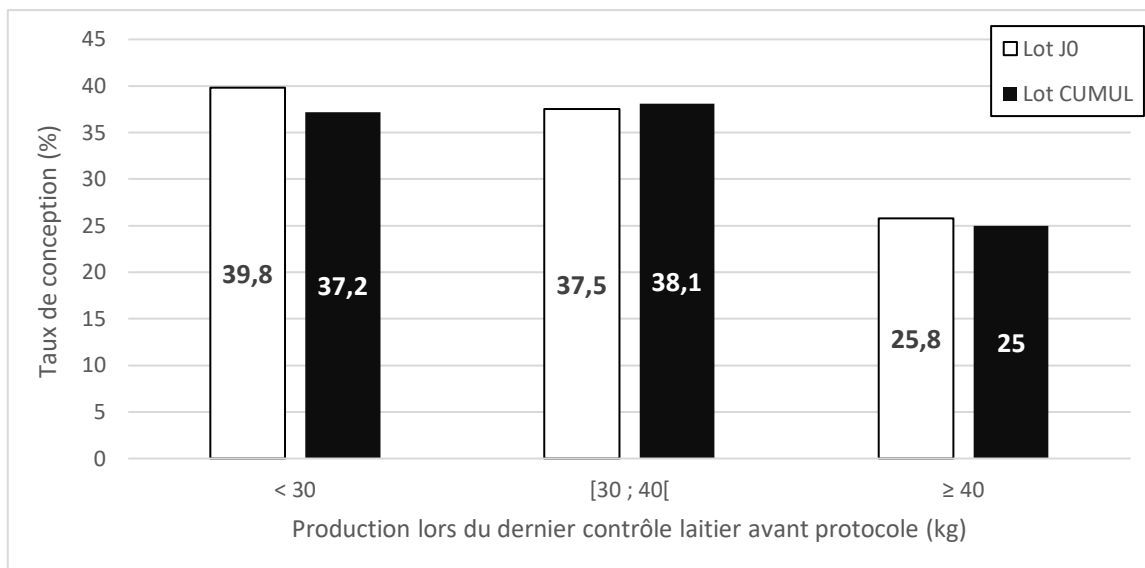


Figure 30 : Taux de conception en fonction du maximum de production laitière autour du pic de lactation

L'étude de ces deux variables montre ainsi que la fertilité décroît en parallèle de l'augmentation de la production journalière (notamment quand celle-ci dépasse les 40kg de lait par jour). Cela vient conforter les études réalisées autour de ce facteur et citées précédemment (cf. partie 3.1.2.).

Il convient cependant de nuancer cette conclusion, notamment en ce qui concerne la corrélation entre fertilité et production avant protocole. En effet, un des biais possibles est le stade de lactation auquel la mesure de la production avant protocole a été faite. Comme indiqué en partie 3.2.2., plus le stade de lactation est avancé, plus la fertilité est favorisée. Or, nous le verrons plus tard, cette observation est en partie vérifiée dans notre étude avec un taux de conception plus élevé lorsque l'IA est réalisée entre 120 et 150 jours *post-partum*. De plus, la production laitière a tendance à être plus élevée en début de lactation. Ainsi, en croisant ces deux variables, on trouve des résultats contradictoires : les vaches produisant plus de 40kg de lait par jour avant protocole, dont la fertilité est moins bonne, ont eu une IA réalisée en moyenne à 127 jours *post-partum*, c'est-à-dire sur une période plus propice à la fertilité d'après l'étude de cette variable (cf partie 5.2.8.) ; au contraire, les IA des vaches produisant moins de 30kg de lait par jour avant protocole ou entre 30 et 40kg de lait par jour (deux groupes avec une meilleure fertilité) ont été réalisées au-delà de 150 jours *post-partum* en moyenne, c'est-à-dire au cours d'une période où la fertilité était moins bonne dans notre étude. Le stade de lactation ne semble donc pas être un biais dans la corrélation entre fertilité et production avant protocole, mais une analyse multivariée aurait été intéressante pour mettre au clair ces résultats contradictoires observés.

5.2.4. Influence du score vaginal et des affections *péri/post-partum*

5.2.4.1. Influence du score vaginal

Au sein du lot J0, le taux de conception tourne autour de 30% avec des pics de réussite à 34,7% pour un score de 1/4 et 43,5% pour un score de 3/4 ($p=0,51$). En étudiant les résultats obtenus autour du seuil de 2/4, les taux de conception sont quasiment similaires, oscillant autour de 32% ($p=0,98$).

La dynamique est proche au sein du lot CUMUL avec là aussi des valeurs de taux de conception autour de 30% et des pics atteignant 34,2% voire 37% pour des scores respectivement de 1/4 et 3/4 ($p=0,85$). Même constatation en fixant le seuil à un score de 2/4 où les valeurs sont proches de 32% ($p=0,79$).

Les variations du taux de conception en fonction du score vaginal dans les deux lots sont résumées dans la Figure 31 ci-contre.

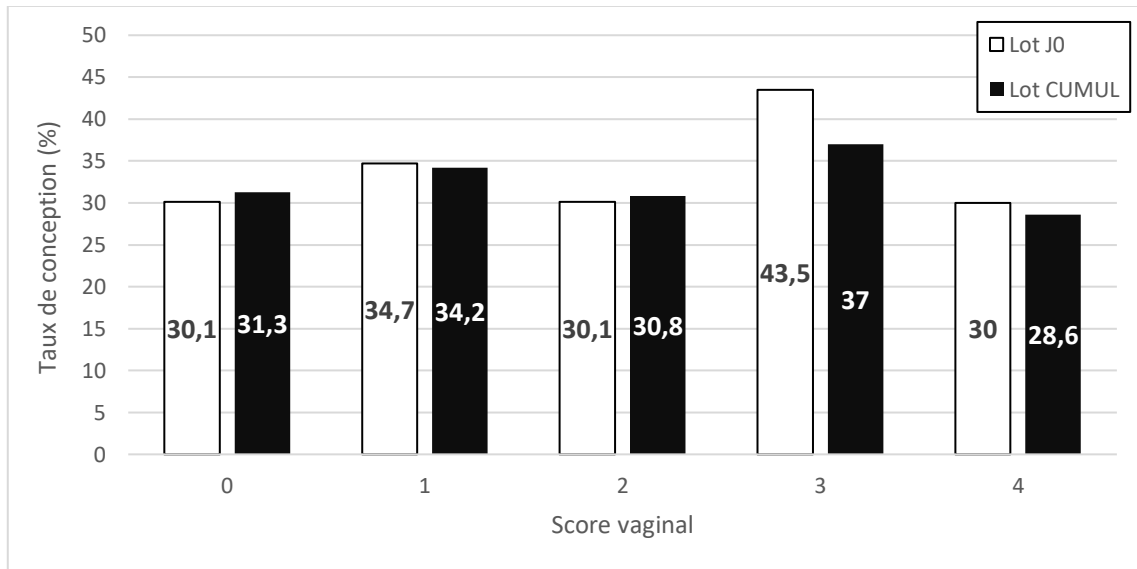


Figure 31 : Taux de conception en fonction du score vaginal

5.2.4.2. Influence des affections *péri/post-partum*

Dans les lots J0 et CUMUL, le taux de conception varia peu selon l'absence ou la présence d'une affection, avec des résultats autour de 31%. Quelques valeurs sont légèrement supérieures mais la différence est loin d'être statistiquement significative.

On observe donc que les affections autour du vêlage ne sont pas corrélées aux taux de conception après protocole dans notre étude, contrairement à ce qui était noté dans les travaux étudiant ce facteur d'infertilité (cf. partie 3.1.4.). Il faut cependant nuancer les résultats obtenus car, d'une part, les affections recensées ici sont celles ayant été diagnostiquées par les vétérinaires. Elles ont été traitées et leur impact sur les résultats de reproduction a donc été limité. D'autre part, ceci a été renforcé par l'intervalle de temps séparant l'apparition de ces affections et le début du protocole. En effet, dans notre étude, les affections *péri-partum* apparaissaient au cours du premier mois de lactation (entre 1 et 2 jours après vêlage en moyenne pour les fièvres de lait et les rétentions placentaire, 30 jours en moyenne pour les métrites), tandis que le début du protocole était réalisé en moyenne autour de 130 jours de lactation. Même constat pour le score vaginal qui était réalisé en moyenne à 37 jours de lactation alors que le protocole débutait là aussi autour de 130 *post-partum*. On peut donc envisager que l'impact de ces affections sur les performances de reproduction a pu être diminué.

5.2.5. Influence du déficit énergétique et de la note d'état corporel

5.2.5.1. Influence de la note d'état corporel

5.2.5.1.1. Influence de la note d'état corporel avant protocole

Le taux de conception augmente au fur et à mesure que la NEC avant protocole augmente. Ce taux passe ainsi de 28-29% (NEC inférieure à 2,5 points) à environ 48% (NEC supérieure ou égale à 3,5 points) dans les lots J0 ($p=0,09$) et CUMUL ($p=0,04$). Cette variation est résumée dans la Figure 32 ci-dessous.

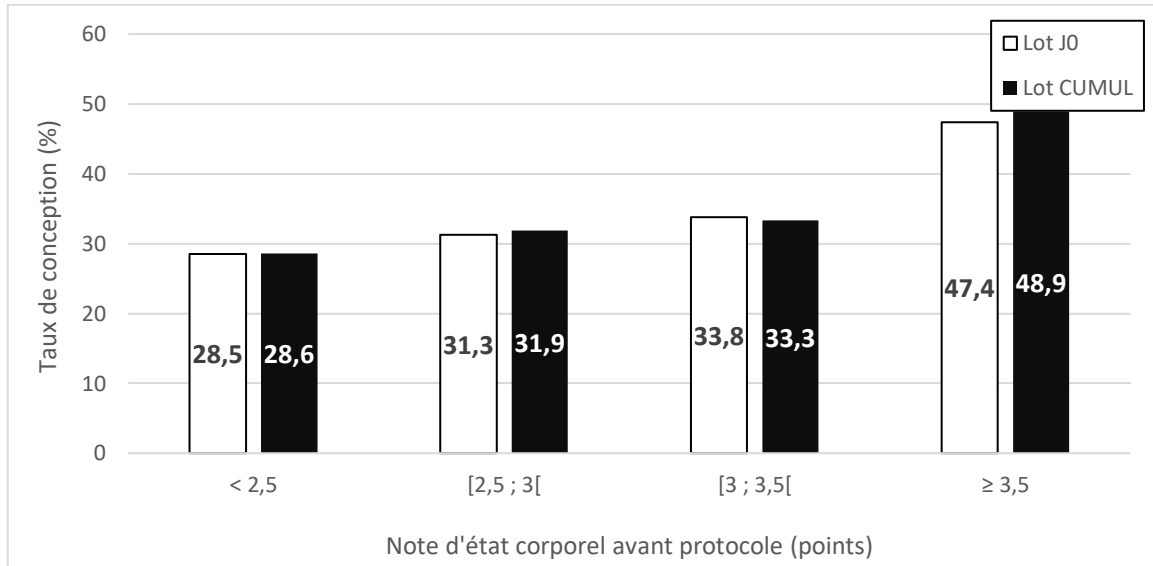


Figure 32 : Taux de conception en fonction de la note d'état corporel avant protocole

On observe donc l'importance de la NEC de la vache avant que son protocole soit réalisé. En effet, la fertilité de l'animal décline quand sa NEC avant protocole diminue. Les différences sont notamment significatives quand on dépasse les 3,5 points de NEC. Cela vient confirmer les conclusions faites par Santos et al. ainsi que Montiel-Olguin et al. (cf. partie 3.1.3.) ((SANTOS, et al., 2009) ; (MONTIEL-OLGUIN, et al., 2019)).

5.2.5.1.2. Influence de la chute de note d'état corporel après vêlage

Les variations sont similaires dans les lots J0 et CUMUL. Le taux de conception est d'environ 52% pour une chute de NEC inférieure à 0,5 points, puis il diminue fortement à 34,2% (lot J0) et 31% (lot CUMUL) quand la chute de NEC est supérieure ou égale à 1 point ($p=0,30$ pour le lot J0 et $p=0,14$ pour le lot CUMUL). Ces résultats sont résumés dans la Figure 33 ci-contre.

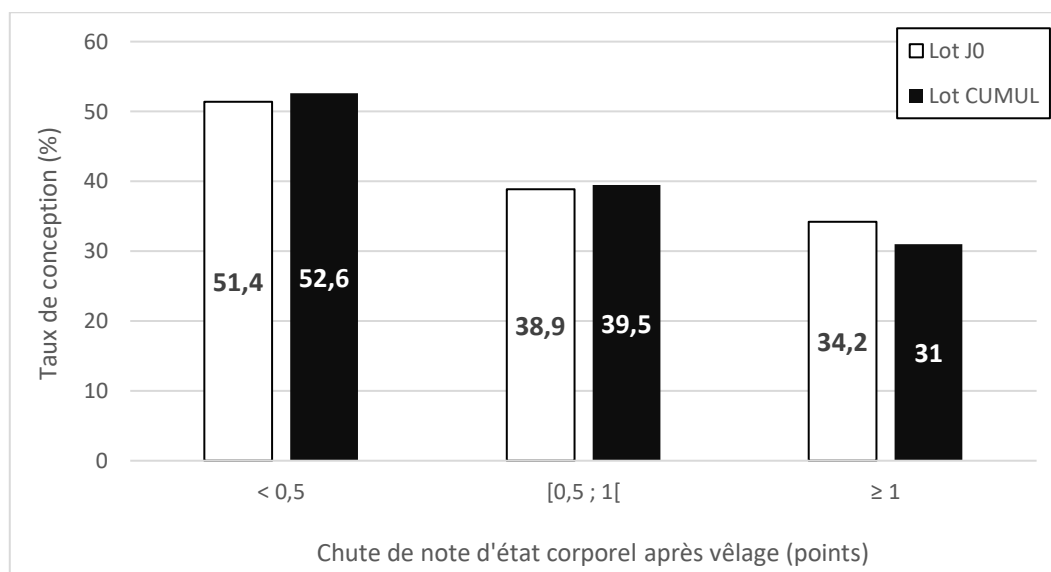


Figure 33 : Taux de conception en fonction de la chute de note d'état corporel après vêlage

Une tendance à la détérioration de la fertilité est donc également notée quand la chute de NEC après vêlage dépasse 0,5 point. Cette observation, réalisée malgré les faibles effectifs dans chaque classe, vient appuyer les résultats obtenus autour de ce paramètre dans l'étude de Butler et Smith (BUTLER & SMITH, 1989).

5.2.5.2. Influence des β -hydroxybutyrates *post-partum*

Dans les lots J0 et CUMUL, le taux de conception est proche de 28-29%, que les BHB soient inférieurs ou supérieurs à 1,2mmol/L (respectivement $p=0,69$ et $p=0,83$).

Bien qu'aucune différence de taux de conception n'ait été observé autour de 1,2 mmol/L, ce résultat est à nuancer. En effet, on peut encore penser que, comme pour les affections *péri-partum*, une vache diagnostiquée en déficit énergétique a eu le temps d'être traitée et d'avoir un statut énergétique plus favorable à la mise à la reproduction. De la même manière, en moyenne 4 mois séparaient la mesure des BHB (réalisée en moyenne 13 jours après vêlage) et le début du protocole (réalisée environ à 140 jours *post-partum*). L'impact du taux de BHB sur les performances de reproduction a donc pu être limité.

On peut également se demander pourquoi aucune corrélation n'a été trouvée entre fertilité et concentration en BHB alors que l'étude de la chute de NEC après vêlage semble indiquer un lien entre le déficit énergétique dans les premières semaines *post-partum* et la fertilité. Le manque de temps et d'informations complémentaires ne nous ont pas permis de trouver une explication.

5.2.5.3. Influence de la variation de production avant le pic de lactation

Au sein des lots J0 et CUMUL, le taux de conception avoisine les 40% quand la production augmente avant le pic de lactation, tandis qu'il est d'environ 35% quand cette dernière diminue sur la même période. Cette différence constatée dans les deux lots n'est cependant pas significative statistiquement (respectivement $p=0,65$ et $p=0,43$).

Malgré l'absence de différence significative, nous avons constaté tout de même une baisse du taux de conception de 5 points quand la production laitière *post-partum* diminuait (alors qu'elle augmente traditionnellement). En partant de l'hypothèse que cette chute de production laitière après vêlage est en lien avec le déficit énergétique de l'animal, l'observation faite via l'étude de cette variable semble corroborer la relation entre déficit énergétique et baisse de fertilité.

5.2.5.4. Influence du taux protéique du lait

Au sein de cette partie, nous présenterons dans un premier temps l'ensemble des résultats trouvés à partir de l'analyse des variables associées au TP du lait, puis nous discuterons de ces résultats dans un second temps, du fait de la similitude des variations du taux de conception pour certaines variables.

5.2.5.4.1. Influence du taux protéique entre 0 et 30 jours en lait

Au sein du lot J0, le taux de conception est proche de 35-36% pour les différentes classes étudiées, avec une baisse non significative à 30,2% quand le TP est compris entre 30 et 32 g/kg de lait ($p=0,71$).

Le taux de conception dans le lot CUMUL fluctue d'une classe à l'autre de façon non significative avec un minimum de 30,7% quand le TP est compris entre 30 et 32 g/kg de lait, et un maximum de 37% quand le TP dépasse 32g/kg de lait ($p=0,68$).

Ces variations dans les deux lots sont présentées ci-dessous dans la Figure 34.

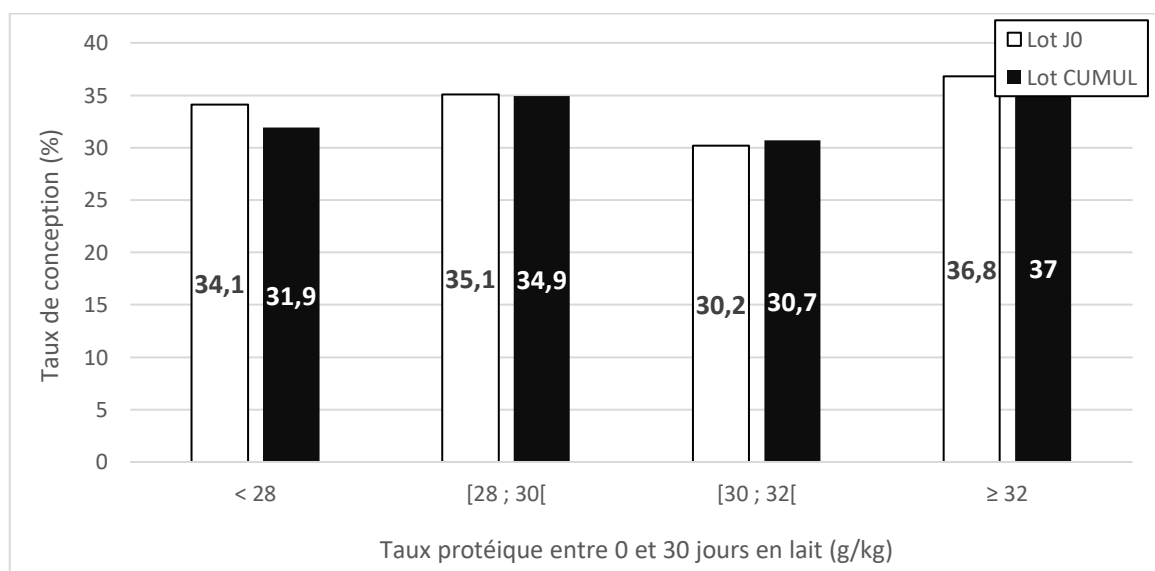


Figure 34 : Taux de conception en fonction du taux protéique enregistré sur le premier mois de lactation

5.2.5.4.2. Influence du taux protéique entre 30 et 60 jours en lait

Dans les lots J0 et CUMUL, le taux de conception varie de façon similaire (lot J0 : $p=0,05$; lot CUMUL : $p=0,06$). Ce dernier atteint un minimum de 27% quand le TP est compris entre 28 et 30 g/kg, et un maximum de 44% pour un TP supérieur ou égal à 32g/kg de lait.

Les variations dans ces deux lots sont représentées dans la Figure 35 ci-contre.

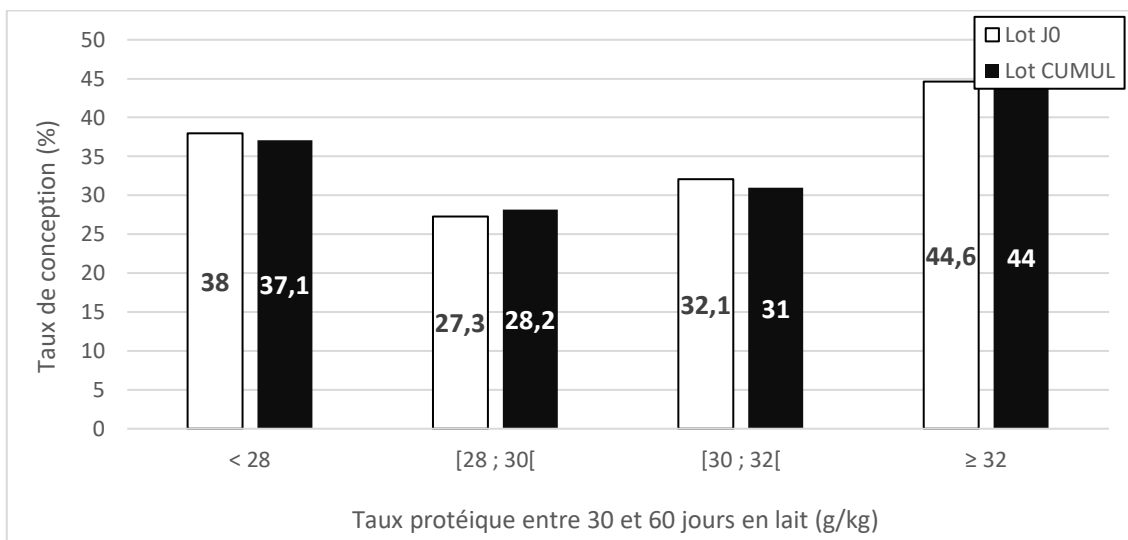


Figure 35 : Taux de conception en fonction du taux protéique enregistré sur le deuxième mois de lactation

5.2.5.4.3. Influence du taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole

Dans les lots J0 et CUMUL, les taux de conception pour la plupart des classes oscillent autour de 34%, avec seulement une chute de la réussite à l'insémination à 25-26% lorsque le TP est compris entre 28 et 30 g/kg de lait. Cette chute, représentée dans la Figure 36 ci-dessous, n'est cependant pas statistiquement significative (lot J0 : $p=0,32$; lot CUMUL : $p=0,27$).

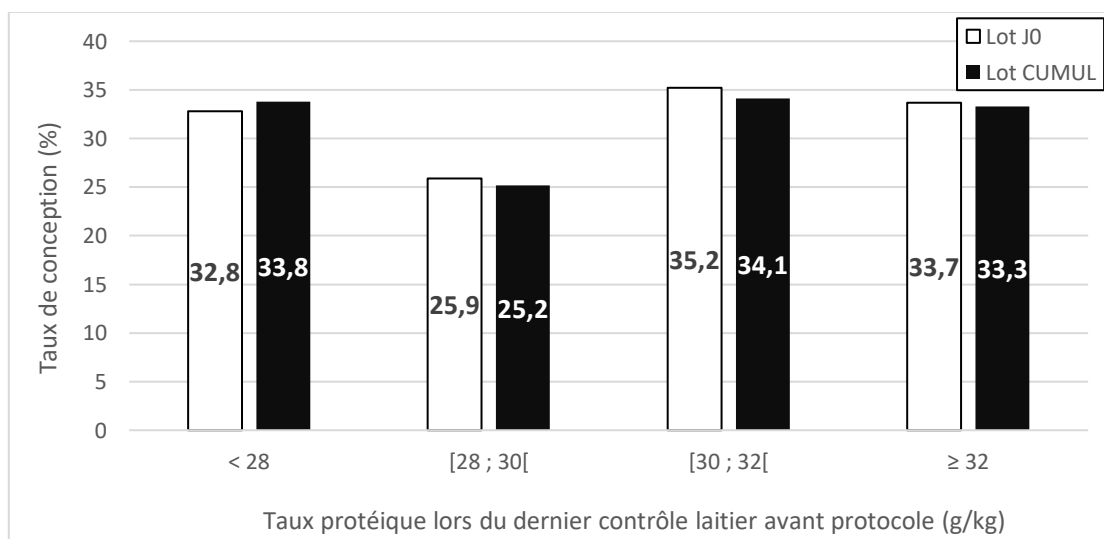


Figure 36 : Taux de conception en fonction du taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole

5.2.5.4.4. Influence du taux protéique minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation

La variation du taux de conception est similaire pour les lots J0 et CUMUL, avec un passage d'environ 36-37% (TP inférieur à 28g/kg de lait) à 26% (TP entre 28 et 30 g/kg de lait), puis une hausse jusqu'à environ 34-35% (TP supérieur ou égal à 30g/kg de lait). Cette variation, présentée dans la Figure 37 ci-contre, est statistiquement significative pour le lot J0 avec $p=0,05$ ($p=0,08$ dans le lot CUMUL).

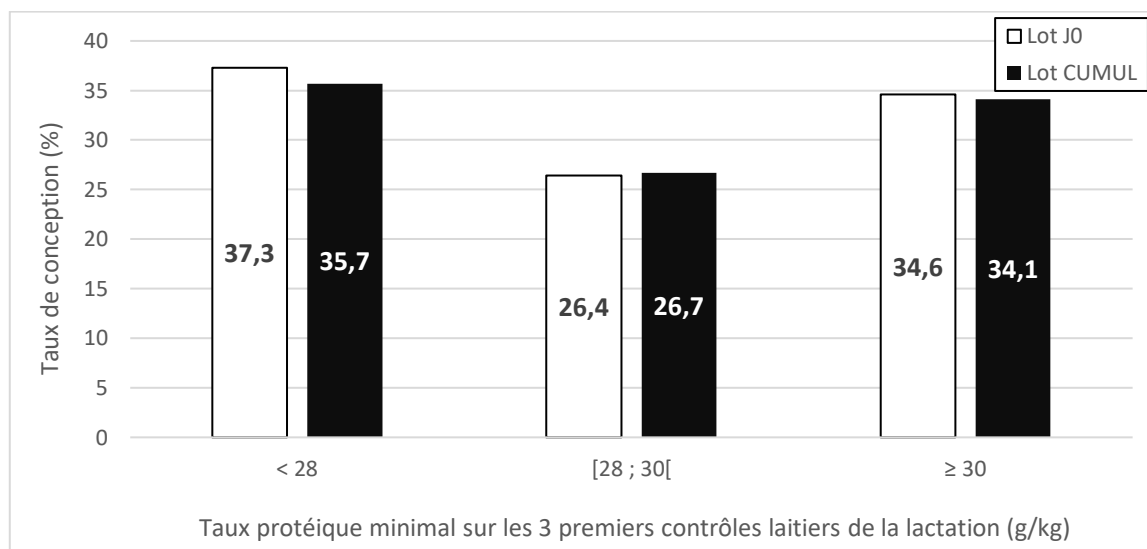


Figure 37 : Taux de conception en fonction du taux protéique minimal enregistré sur les 3-4 premiers mois de lactation

5.2.5.4.5. Influence du taux protéique maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation

Au sein des lots J0 et CUMUL, le taux de conception croît de 28-29% (TP inférieur à 30g/kg de lait) jusqu'à environ 35% (TP supérieur ou égal 32g/kg de lait). Cette variation, présentée ci-dessous dans la Figure 38, n'est cependant pas significative (lot J0 : $p=0,36$; lot CUMUL : $p=0,27$).

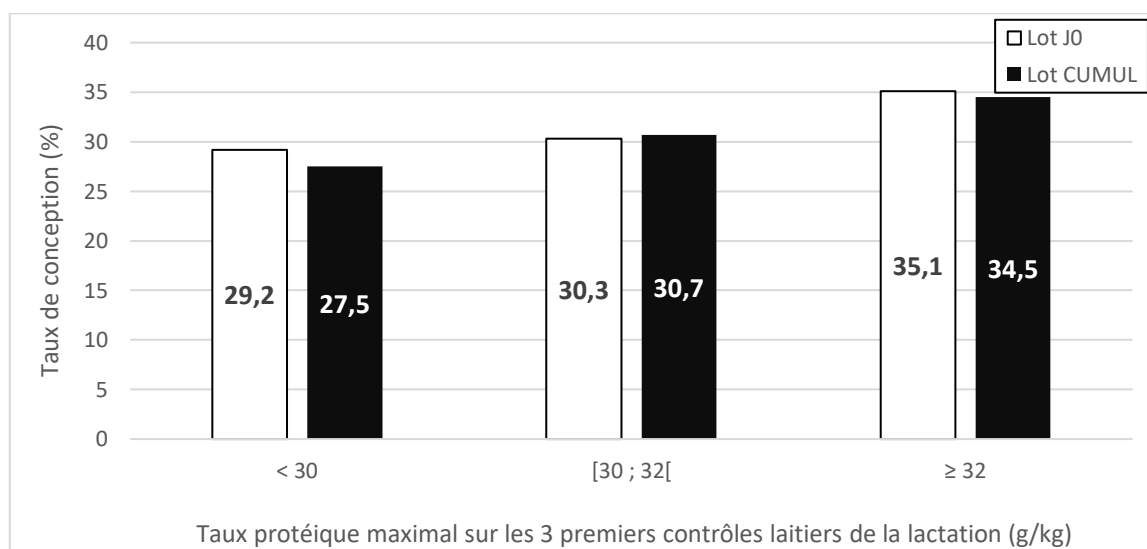


Figure 38 : Taux de conception en fonction du taux protéique maximal enregistré sur les 3-4 premiers mois de lactation

Lorsque le TP est strictement inférieur à 32g/kg de lait, le taux de conception diminue autour de 29-30% (respectivement $p=0,18$ et $p=0,16$). C'est en plaçant le seuil à 33g/kg de lait que l'on observe une différence significative : le taux de conception passe alors de 29% à 37% lorsque l'on dépasse ce seuil de TP (lot J0 : $p=0,05$; lot CUMUL : $p=0,06$). Cette dernière analyse est présentée dans la Figure 39 ci-contre.

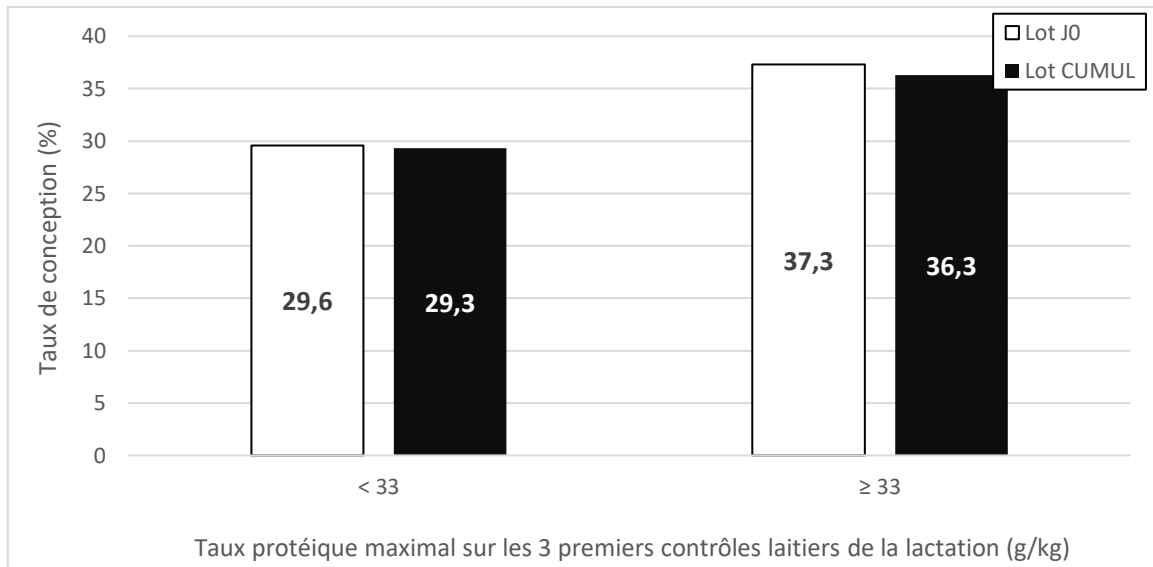


Figure 39 : Taux de conception en fonction du taux protéique maximal enregistré sur les 3-4 premiers mois de lactation (seuil à 33g/kg)

5.2.5.4.6. Discussion autour de l'influence du taux protéique du lait

L'étude des variables associées au TP du lait a révélé des résultats surprenants pour la plupart. Les analyses du TP au cours du deuxième mois de lactation, du TP avant application du protocole et du TP minimal sur les 3 premiers mois de lactation mettent ainsi en évidence des variations du taux de conception plus ou moins similaires et semblent indiquer une baisse de fertilité quand les animaux ont un TP compris entre 28 et 30 g/kg de lait. L'analyse du TP lors du premier mois de lactation montre aussi une chute du taux de conception mais cette fois-ci entre 30 et 32 g/kg de lait.

Ces résultats sont intrigants quand on sait qu'un animal est considéré dans un état de déficit énergétique lorsque son TP est inférieur à 28g/kg de lait. Or, ici, on constate que la fertilité est satisfaisante en-deçà de cette valeur de TP. De plus, les élevages réunis dans cette étude n'effectuent pas de traitement à base de propylène glycol lorsque le TP des vaches est trop bas, ce qui rend d'autant plus étonnant ces observations. Ainsi, aucune explication n'a pu être apportée pour justifier les variations de taux de conception observées. Une analyse multivariée pourrait s'avérer intéressante pour vérifier si ces variations ne sont pas dues à l'effet troupeau ou un autre paramètre.

Enfin, on constate en étudiant le TP maximal sur les 3-4 premiers mois de lactation que, plus ce TP diminue (notamment en dessous de 30-32 g/kg de lait), plus le taux de conception a tendance à se dégrader. La fertilité des vaches est d'ailleurs très intéressante quand ce TP dépasse les 33g/kg de lait. Ces observations viennent là aussi corroborer, en parallèle de la chute de NEC après vêlage, l'impact négatif du déficit énergétique *post-partum* sur la fertilité.

5.2.5.5. Influence du rapport taux butyreux/taux protéique

Comme dans la partie précédente, nous présenterons dans un premier temps les résultats des variables associées au rapport TB/TP puis nous ferons une discussion d'ensemble dans un second temps.

5.2.5.5.1. Influence du rapport taux butyreux/taux protéique entre 0 et 30 jours en lait

Dans les lots J0 et CUMUL, le taux de conception a tendance à diminuer quand le rapport TB/TP dépasse 1,5. Il passe ainsi de 35% à 30%, sans que cela soit statistiquement significatif (lot J0 : $p=0,4$; lot CUMUL : $p=0,52$).

5.2.5.5.2. Influence du rapport taux butyreux/taux protéique entre 30 et 60 jours en lait

Le taux de conception varie peu autour d'un rapport TB/TP égal à 1,5 dans les lots J0 et CUMUL, passant d'environ 34% à 32% lorsque le rapport dépasse ce seuil. Cette différence n'est pas statistiquement significative avec $p=0,82$ pour le lot J0 et $p=0,81$ pour le lot CUMUL.

5.2.5.5.3. Influence du rapport taux butyreux/taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole

Au sein du lot J0, le taux de conception passe de 32,3% à 34,6% lorsque l'on dépasse un rapport TB/TP égal à 1,5 ($p=0,85$). L'évolution est quasiment identique pour le lot CUMUL avec un taux de conception autour de 32%, que le rapport TB/TP soit inférieur ou supérieur à 1,5 ($p=1$).

5.2.5.5.4. Discussion autour de l'influence du rapport taux butyreux/taux protéique

Au vu des résultats obtenus par l'étude des différentes variables, le rapport TB/TP n'est pas corrélé à la fertilité des animaux après application du protocole Ovsynch. On constate néanmoins une variation intéressante via l'étude du rapport TB/TP lors du premier mois de lactation avec un taux de conception qui baisse de 5 points quand le rapport dépasse 1,5. Cette observation est ainsi cohérente avec le fait que le déficit énergétique *post-partum* est un frein à la fertilité de la vache.

5.2.5.6. Influence du taux butyreux du lait

Dans cette partie nous présenterons à nouveau les résultats des différentes variables associées au TB du lait avant de terminer par une discussion d'ensemble.

5.2.5.6.1. Influence du taux butyreux entre 0 et 30 jours en lait

Au sein des lots J0 et CUMUL, nous observons des fluctuations statistiquement non significatives du taux de conception ($p=0,82$ pour le lot J0 et $p=0,86$ pour le lot CUMUL), avec un minimum autour de 32% quand le TB est compris entre 35 et 40 g/kg de lait, et un maximum d'environ 37% lorsque le TB est compris entre 40 et 45 g/kg de lait. Les variations sont présentées dans la Figure 40 ci-dessous.

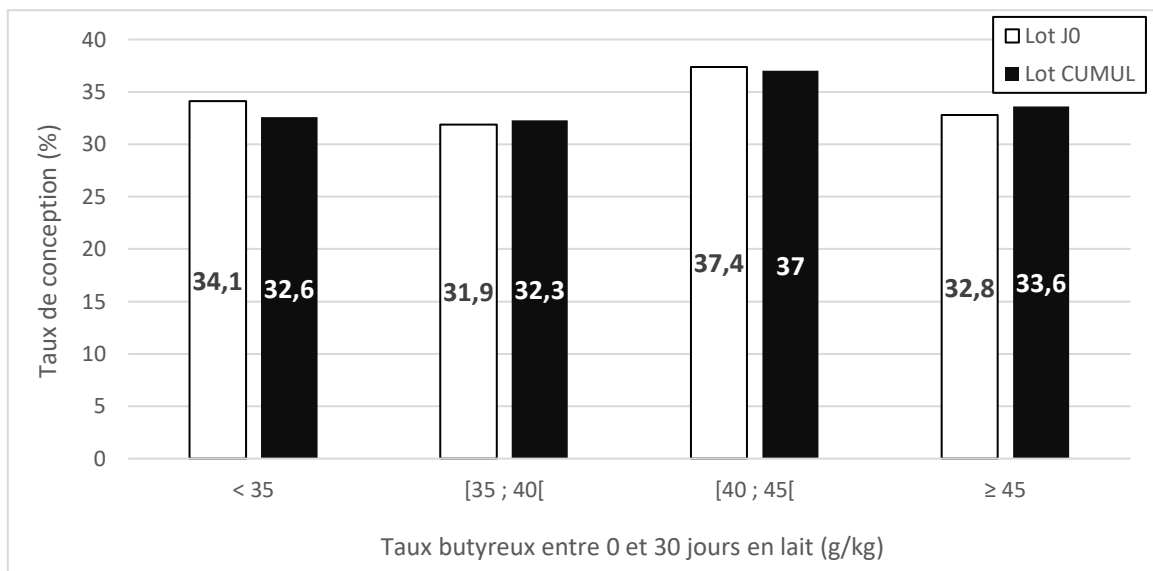


Figure 40 : Taux de conception en fonction du taux butyreux entre 0 et 30 jours en lait

5.2.5.6.2. Influence du taux butyreux entre 30 et 60 jours en lait

Dans le lot J0, le taux de conception stagne entre 32,2% et 33,7% quand le TB est inférieur à 45g/kg de lait, puis augmente de façon non significative statistiquement à 38,4% au-delà de 45g/kg de lait ($p=0,83$).

Le taux de conception au sein du lot CUMUL a tendance à chuter légèrement avec la hausse du TB, passant de 33,9% (TB inférieur à 35g/kg de lait) à 30,8% (TB compris entre 40 et 45 g/kg de lait). Au-delà de 45g/kg de lait, le taux de conception grimpe jusqu'à 39,5%. Là encore les variations ne sont pas statistiquement significatives avec $p=0,56$.

Les résultats de ces deux lots sont présentés dans la Figure 41 page suivante.

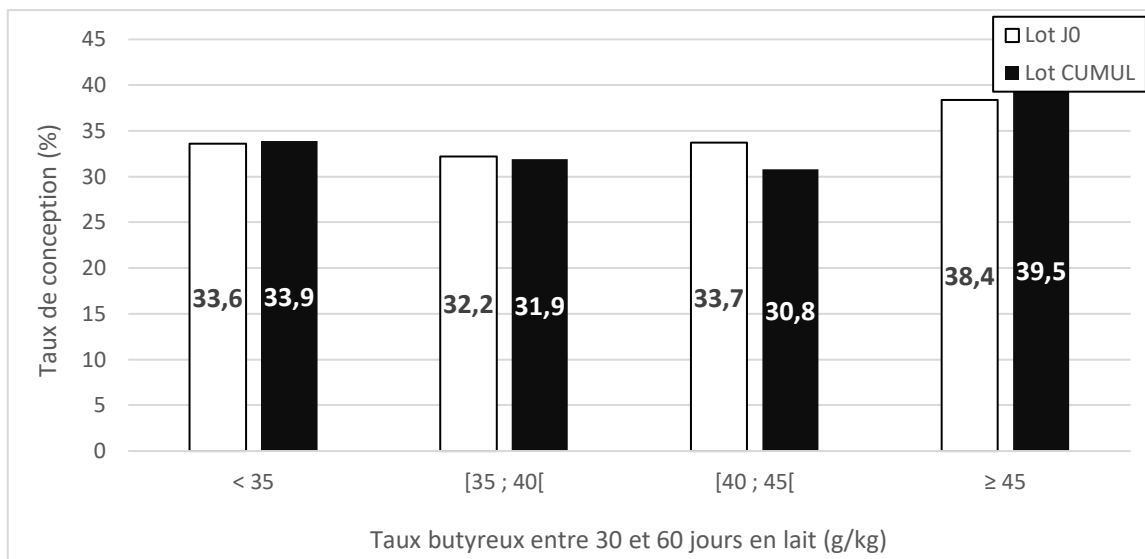


Figure 41 : Taux de conception en fonction du taux butyreux entre 30 et 60 jours en lait

5.2.5.6.3. Influence du taux butyreux lors du dernier contrôle laitier avant protocole

Au sein du lot J0, le taux de conception est de 28,9% quand le TB est inférieur à 35g/kg de lait, puis croît jusqu'à 34-35% à partir de 40g/kg de lait, sans que cela soit statistiquement significatif ($p=0,69$). En étudiant autour d'un seuil à 40g/kg, on constate que le taux de conception augmente en passant de 30,7% (TB inférieur à 40g/kg) à 34,6% (TB supérieur ou égal à 40g/kg). Cette variation n'est pas significative avec $p=0,33$.

Pour le lot CUMUL, le taux de conception augmente progressivement en parallèle du TB, sans différence significative. Il est ainsi de 28% lorsque le TB est inférieur à 35g/kg contre 35,3% quand ce dernier dépasse 45g/kg. Autour du seuil de 40g/kg de lait, le taux de conception a tendance à grimper de 30,2% (TB inférieur à 40g/kg) à 33,9% (TB supérieur ou égal à 40g/kg) ($p=0,32$).

Les résultats pour ces deux lots sont résumés dans la Figure 42 ci-contre.

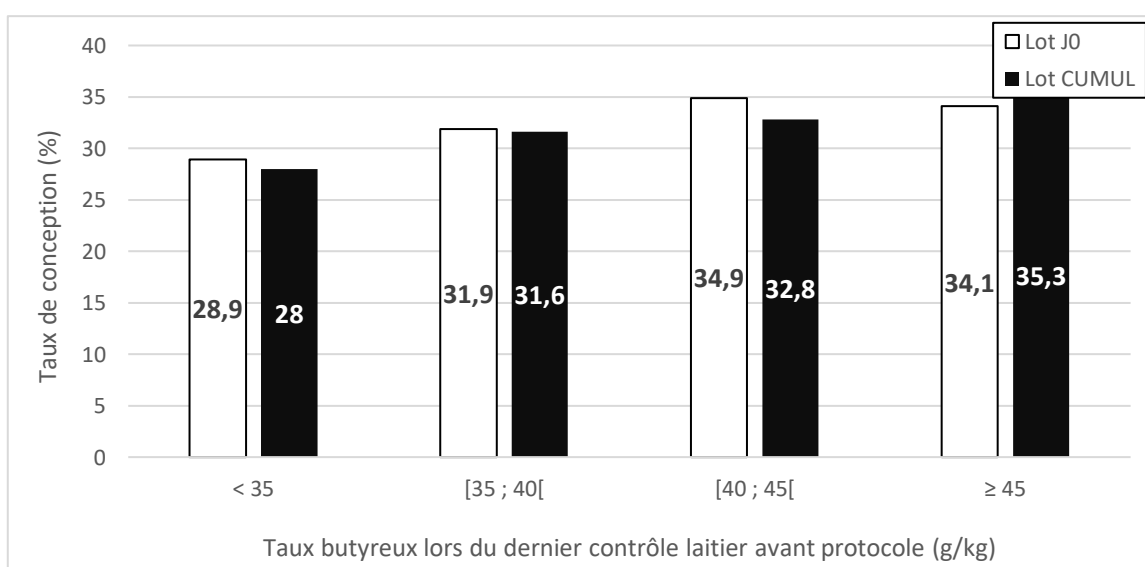


Figure 42 : Taux de conception en fonction du taux butyreux lors du dernier contrôle laitier avant protocole

5.2.5.6.4. Influence du taux butyreux minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation

Dans les lots J0 et CUMUL, le taux de conception est de 30-31% quand le TB minimal est inférieur à 38g/kg de lait, avant de légèrement monter à 34-35% au-delà de 38g/kg de lait (lot J0 : p=0,6 ; lot CUMUL : p=0,55)

5.2.5.6.5. Influence du taux butyreux maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation

Les taux de conception des lots J0 et CUMUL ont une évolution similaire, comme on peut le voir dans la Figure 43 ci-dessous. La réussite à l'insémination tourne autour de 31-32% avec un très léger pic à respectivement 34,9% et 33,2% quand le TB maximal est compris entre 40 et 45 g/kg de lait (lot J0 : p=0,69 ; lot CUMUL : p=0,86).

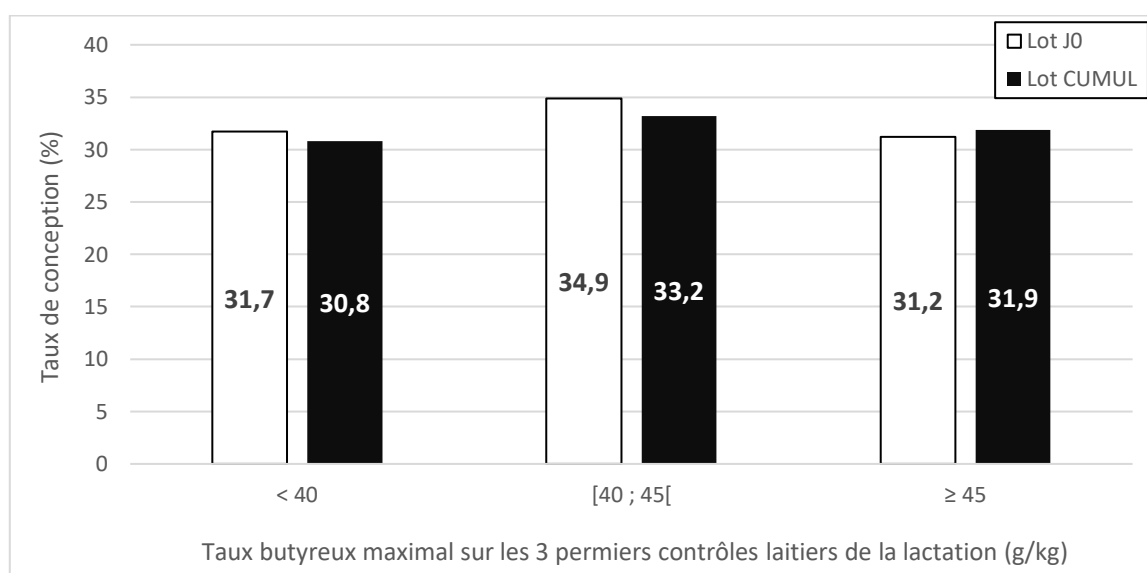


Figure 43 : Taux de conception en fonction du taux butyreux maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation

5.2.5.6.6. Discussion autour de l'influence du taux butyreux du lait

L'analyse des variables associées au TB du lait ne révèle pas de corrélation flagrante avec la fertilité de l'animal à la suite du protocole Ovsynch. On notera la présence du pic de fertilité entre 40 et 45 g/kg de lait pour le TB au premier mois de lactation et le TB maximal sur les 3-4 premiers mois de lactation, tandis qu'il se trouve au-delà de 45g/kg de lait pour le TB du deuxième mois de lactation et le TB avant protocole. Nous n'avons pas trouvé d'explication à ces observations.

5.2.6. Influence du taux d'urée lors du dernier contrôle laitier avant protocole

Dans les lots J0 et CUMUL, le taux de conception varie peu et se situe autour de 30-32% lorsque la concentration sanguine en urée est inférieure à 150mg/L, puis baisse de façon non significative au-delà de cette concentration à 25,7% pour le lot J0 (p=0,67) et 24,1% pour le lot CUMUL (p=0,42). Cette variation est résumée page suivante dans la Figure 44.

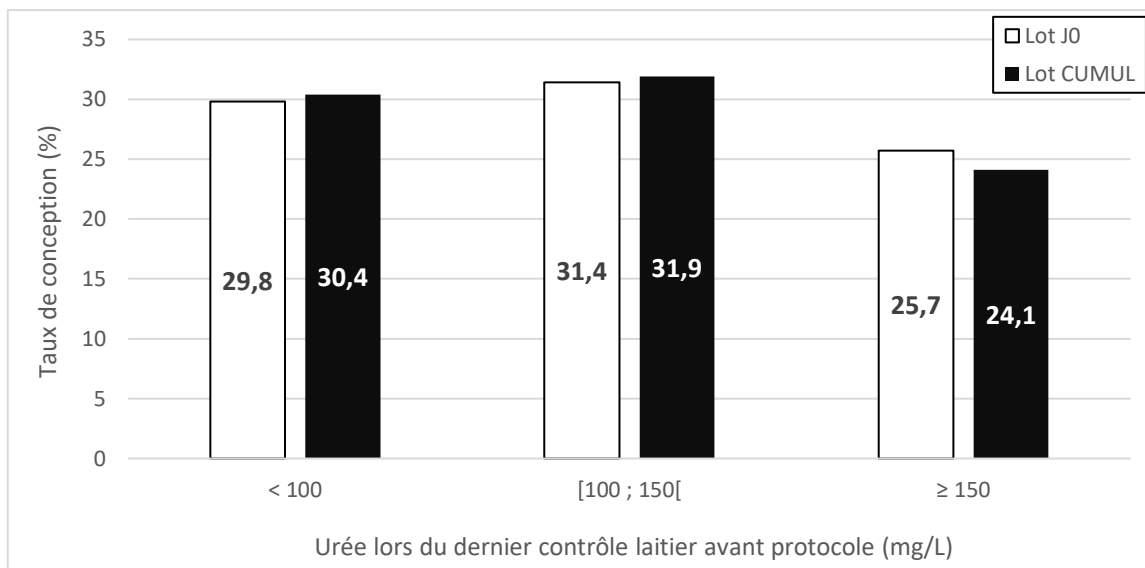


Figure 44 : Taux de conception en fonction du taux d'urée lors du dernier contrôle laitier avant protocole

L'analyse du taux d'urée du lait avant protocole a donc montré l'absence de corrélation avec le taux de conception. Nous noterons cependant que les valeurs obtenues après extraction de données sont étonnamment basses, avec très peu de taux d'urée dépassant les 200 mg/L de lait. De même, l'étonnante baisse de fertilité au-delà de 150 mg/L de lait n'est pas expliquée.

5.2.7. Influence de la saison d'insémination

Au sein des lots J0 et CUMUL, le taux de conception est à son minimum en été à environ 27%, puis remonte autour de 32-33% en automne avant d'atteindre son maximum en hiver à environ 35%. Enfin, le taux de conception redescend très légèrement au printemps autour de 33%, comme représenté dans la Figure 45 ci-dessous. La différence entre les taux de conception des quatre saisons est non significative (lot J0 : $p=0,16$; lot CUMUL : $p=0,13$) mais la réussite à l'insémination semble se détériorer en été.

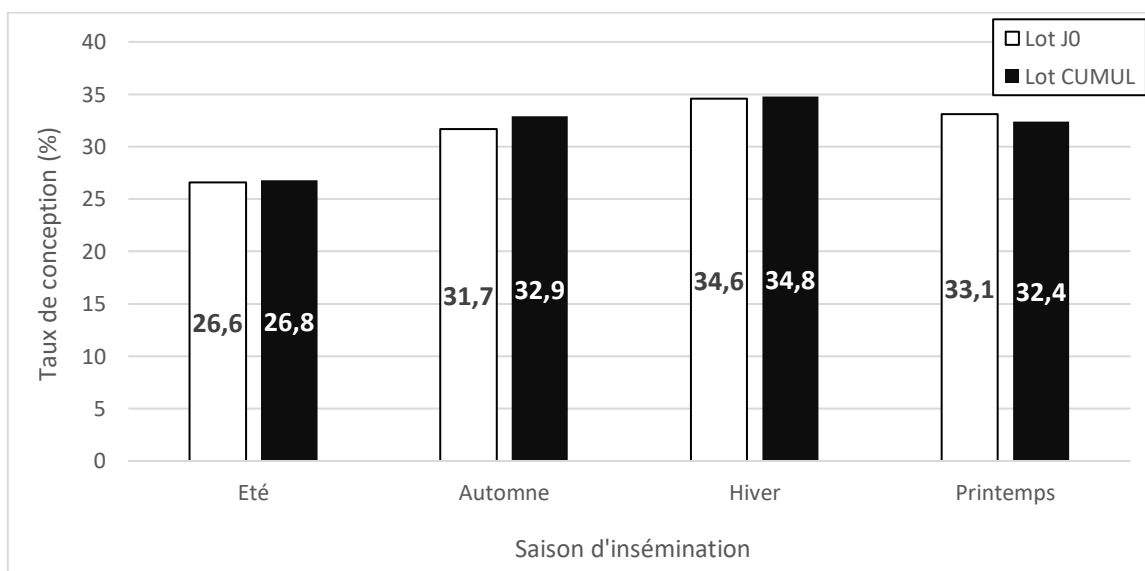


Figure 45 : Taux de conception en fonction de la saison d'insémination

Cela est confirmé en comparant le taux de réussite à l'insémination en été avec celui des trois autres saisons réunies, qui est de 33,2% dans les deux lots. Cette fois-ci la différence est statistiquement significative avec $p=0,03$, comme présenté dans la Figure 46 ci-contre.

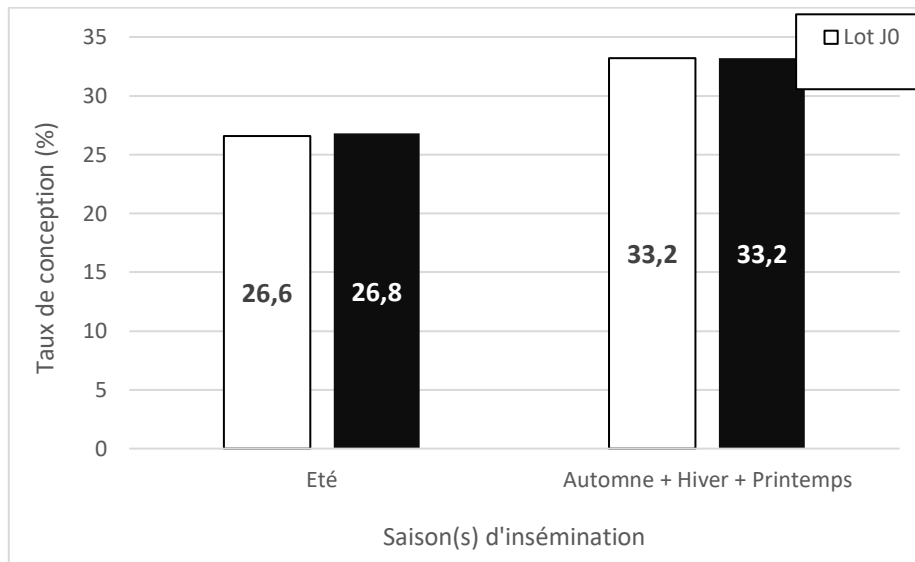


Figure 46 : Taux de conception en fonction de la saison d'insémination (été versus autres saisons)

En s'intéressant aux performances de reproduction saison par saison au cours de la période d'étude, on constate que le taux de conception fluctue globalement de la même façon que décrit dans le paragraphe précédent, avec un minimum atteint à l'été 2019 (26%). Mais on peut surtout observer des variations importantes d'une année sur l'autre : pour la saison hivernale, le maximum de taux de conception grimpe à environ 40% en 2019 tandis que le taux de conception n'est « que » de 32% en 2020. C'est d'ailleurs au printemps que le taux de conception est maximal en 2020 avec 34%, proche des 32% du printemps 2019. Bien que les différences entre les taux de conception ne soient pas significatives (lot J0 : $p=0,20$; lot CUMUL : $p=0,19$), une tendance semble tout de même se dessiner. L'observation des taux de réussite sur l'été 2020 aurait permis de confirmer si ces derniers se détériorent lors de la période estivale. Ces résultats sont résumés dans la Figure 47 ci-dessous.

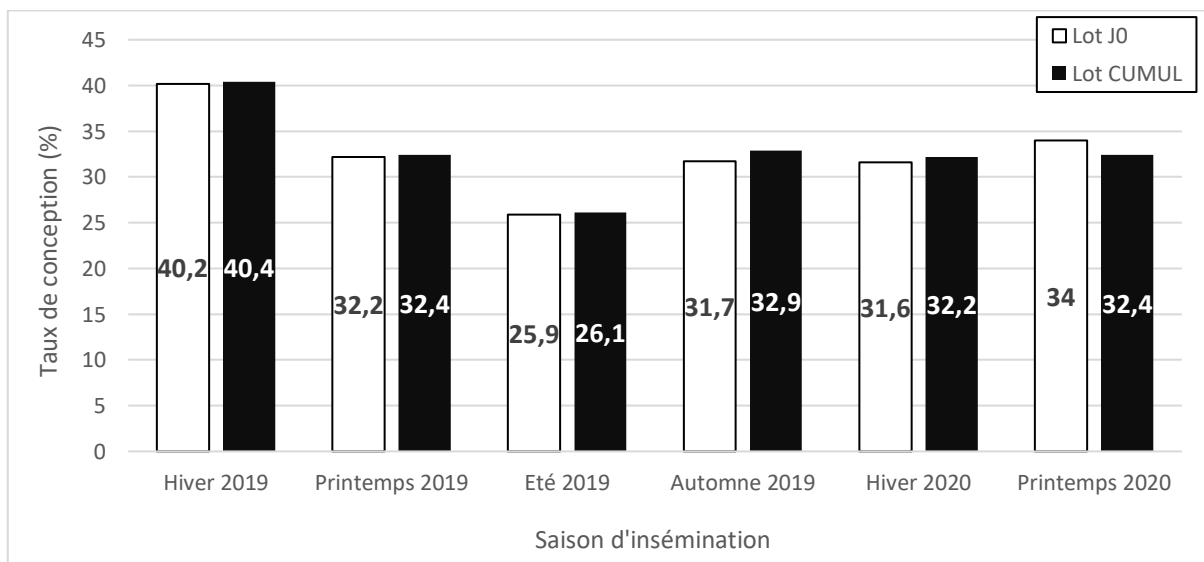


Figure 47 : Taux de conception en fonction de la saison d'insémination (saison par année)

Concernant l'étude du lot J-1/J-2, le taux de conception est cette fois-ci minimal au printemps avec 27,7%. Il augmente légèrement à 28,6% en été, atteint un maximum à 41,4% en automne puis rediminue à 36,6% en hiver. Ces variations, présentées ci-dessous dans la Figure 48, sont cependant statistiquement non significatives avec $p=0,53$. En comparant la réussite à l'insémination entre l'été et les autres saisons, on constate, comme pour les deux autres lots, une baisse non significative ($p=0,79$) du taux de conception en été qui est de 28,6% contre 33,3% pour les autres saisons réunies.

L'étude visant à comparer les saisons séparément sur la période choisie n'a pu être réalisée du fait du faible effectif dans ce lot.

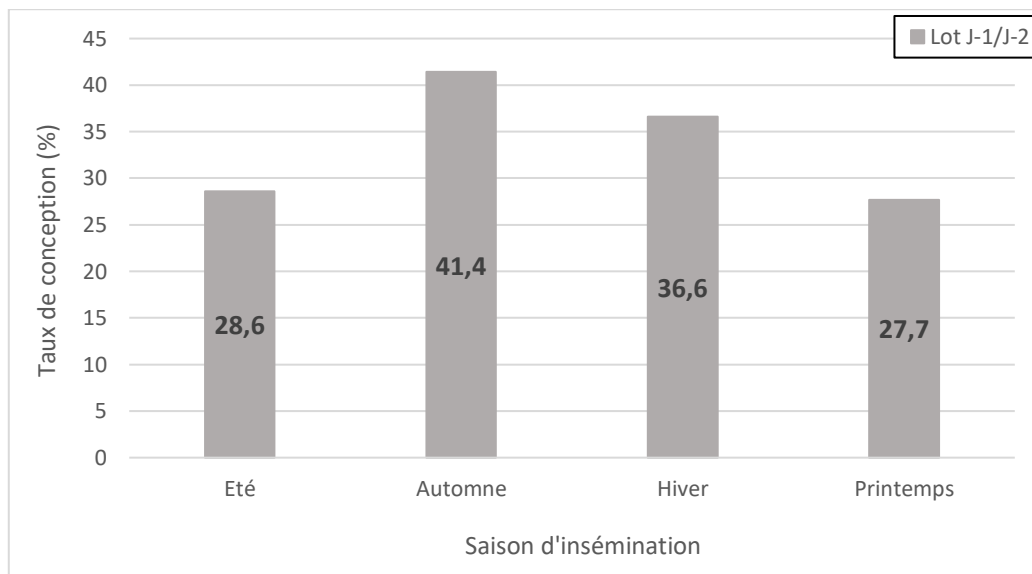


Figure 48 : Taux de conception en fonction de la saison d'insémination dans le lot J-1/J-2

Notre étude a donc mis en évidence l'influence de la saison d'insémination sur la réussite de l'IA après protocole. Nous avons ainsi pu observer la dégradation du taux de conception sur la période estivale, probablement due aux chaleurs et au stress thermique associés à la saison. Concernant le lot J-1/J-2, on pourrait supposer que les bons résultats en automne/hiver seraient liés à une meilleure détection des chaleurs en bâtiment sur cette période. Cependant, les effectifs des différentes classes dans ce lot sont faibles et les conclusions délicates.

Une des critiques que nous pourrions faire concernant l'étude de cette variable est le nombre de jours étudiés selon les saisons. En effet, comme expliqué plus haut, notre étude englobant les protocoles GPG réalisés sur un an et demi. Les saisons d'automne et d'été ne sont donc représentées qu'une fois tandis que les saisons d'hiver et de printemps le sont deux fois. Ceci est donc à l'origine d'une variabilité importante des effectifs associés aux différentes saisons. Une étude sur deux ans aurait été préférable pour l'étude de cette variable mais cela n'a pas pu être fait pour des questions pratiques (moins de données disponibles sur l'année 2018 et obligation de fixer une date de fin pour lancer l'analyse statistique).

5.2.8. Influence de l'intervalle vêlage-insémination animale

Au sein du lot J0, le taux de conception fluctue autour de 29% et augmente significativement ($p=0,01$) à 39,7% quand l'insémination est réalisée entre 120 et 150 JEL.

Dans le lot CUMUL, le taux de conception oscille autour de 29-32% et atteint lui aussi un maximum à 37,7% entre 120 et 150 JEL. Cette hausse est proche de la significativité avec $p=0,08$.

Les variations dans ces deux lots sont présentées dans la Figure 49 ci-dessous.

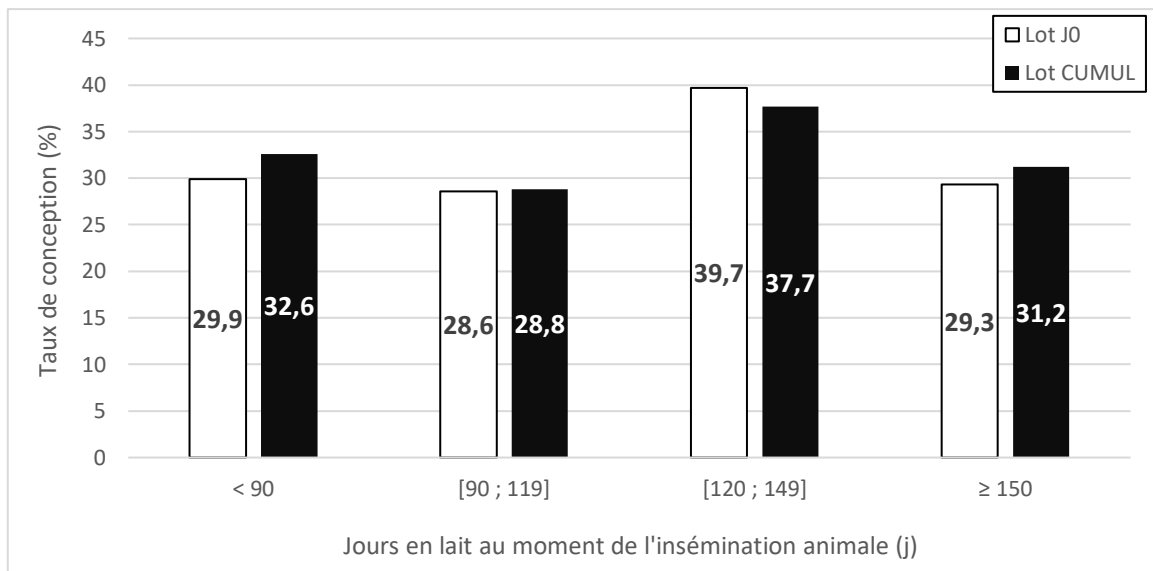


Figure 49 : Taux de conception en fonction de l'intervalle vêlage-insémination animale

Les variations observées sont étonnantes avec un pic de fertilité entre 120 et 150 jours *post-partum*, tandis que les taux de conception sont plus faibles et similaires autour de cette période. La présence de ce pic à cette période est difficilement explicable. On peut néanmoins penser que la fertilité s'améliore une fois l'appareil reproducteur régénéré et le pic de lactation passé, comme décrit dans diverses études. On peut ensuite supposer que la baisse du taux de conception au-delà de 150 JEL est liée à la présence, dans cette classe, d'une plus grande proportion de vaches ayant des troubles de la reproduction (pouvant être associés à du « repeat breeding »), le protocole Ovsynch représentant alors une alternative pour améliorer la fertilité de l'animal.

5.2.9. Influence des modalités d'application du protocole

5.2.9.1. Influence du délai prescription-début de protocole

Dans les lots J0 et CUMUL, le taux de conception évolue de façon similaire. Il est autour de 29-30% pour un délai inférieur à 5 jours ou compris entre 12 et 18 jours, et augmente jusqu'à 38% entre 5 et 11 jours de délai (respectivement $p=0,15$ et $p=0,12$). Ces résultats sont résumés dans la Figure 50 page suivante.

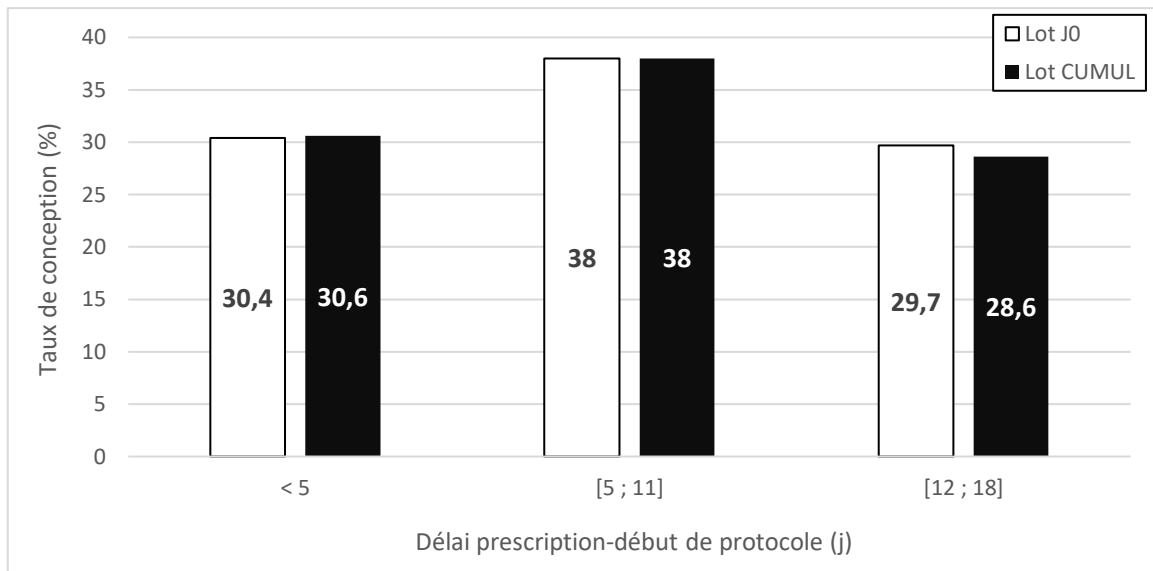


Figure 50 : Taux de conception en fonction du délai prescription-début de protocole

Dans la clientèle de la clinique VET&SPHERE, les vétérinaires laissent le choix aux éleveurs de débiter eux-mêmes le protocole GPG. Les deux partis conviennent en général de la date de la première injection de GnRH suite à l'évaluation de l'activité ovarienne le jour de la prescription du protocole mais aussi en fonction de l'emploi du temps de l'éleveur et des dates des injections hormonales suivantes. Finalement, nous avons pu constater en étudiant les données que les délais entre la prescription et le début du protocole étaient très variables.

Comme expliqué plus haut, le choix des classes de cette variable a été fait par le vétérinaire par rapport à son expérience de terrain. L'analyse statistique montre ainsi que le taux de conception a tendance à s'améliorer lorsque ce délai est compris entre 5 et 11 jours. D'après le vétérinaire, cela correspond en général aux recommandations faites par les vétérinaires de la clinique aux éleveurs quand aucun corps jaune n'est trouvé à l'échographie le jour de la prescription du protocole. De plus, en l'absence de corps jaune (J17-J21 du cycle sexuel) et en appliquant ce délai avant de débiter le protocole, la première injection de GnRH aurait lieu dans la majorité des cas en début de diœstrus, c'est-à-dire au moment le plus favorable pour la réussite ultérieure de l'IA d'après plusieurs études ((BISINOTTO, et al., 2014) ; (COLAZO & MAPLETOFT, 2014) ; (CARVALHO, et al., 2018)). Nous verrons plus tard que cette conclusion peut être appuyée par l'étude de l'influence du délai prescription-début de protocole en l'absence d'un corps jaune sur le taux de conception.

Si nous devons chercher à améliorer notre étude, peut-être aurait-il été préférable de standardiser les modalités d'application des protocoles. Nous aurions par exemple pu proposer un début de protocole le jour de la prescription lorsqu'un corps jaune est observé à l'échographie et un délai fixe avant réalisation du protocole quand aucun corps jaune n'est trouvé.

5.2.9.2. Influence du protocole

Dans le lot J0, le taux de conception ne varie pas selon le type de protocole avec 31,5% pour le GPG et 31,4% pour le I-GPG ($p=1$). Le taux de conception varie aussi très peu quand on se concentre sur le protocole GPG appliqué dès sa prescription avec 33,8% ($p=0,6$).

La situation est identique pour le lot CUMUL avec 31,6% de réussite à l'insémination pour les deux protocoles ($p=1$). Le taux de conception est de 32,7% quand le protocole GPG est appliqué dès sa prescription ($p=0,82$).

On constate donc qu'il n'y a pas de différence dans les taux de conception selon que le vétérinaire ou l'éleveur effectue la première injection du protocole. En partant du principe que l'éleveur effectue lui-même la première injection à la suite des recommandations du praticien afin d'améliorer l'efficacité du protocole (comme expliqué précédemment), on peut penser que le respect de ces recommandations assure une efficacité similaire à celle obtenue quand le vétérinaire débute lui-même le protocole lors de sa visite. De même, l'absence de différence observée selon la personne qui réalise la première injection le jour de la prescription du protocole montre que, même si l'injection est réalisée par l'éleveur quelques heures maximum après le passage du vétérinaire, cela n'a pas d'influence sur la fertilité des animaux.

5.2.10. Influence de l'activité ovarienne à la prescription du protocole et moment du cycle à l'initiation de l'Ovsynch

5.2.10.1. Influence de la présence d'un corps jaune lors de la prescription

Dans les lots J0 et CUMUL, la différence entre les taux de conception selon s'il y a présence d'un corps jaune ou non à la prescription du protocole n'est pas statistiquement significative (respectivement $p=0,35$ et $p=0,51$). Ainsi, le taux de conception est autour de 34% en absence d'un corps jaune contre environ 31% en présence de celui-ci.

Il peut paraître étonnant que le protocole GPG marche aussi bien (voire mieux) en absence d'un corps jaune. En effet, la présence de cet organite signifie que l'animal est cyclé et c'est dans cette situation que le protocole fonctionne le mieux. Cependant, l'absence de corps jaune ne signifie pas nécessairement que la vache n'est pas cyclée. La réalisation de suivis de reproduction réguliers permet alors de s'assurer de cette cyclicité malgré l'absence de corps jaune au moment de la prescription du protocole.

5.2.10.2. Influence d'un follicule dominant lors de la prescription

Dans les lots J0 et CUMUL, les taux de conception sont quasiment identiques (avec respectivement $p=0,91$ et $p=1$) en l'absence ou en présence d'un follicule dominant à la prescription du protocole. Ainsi, on obtient un taux de conception de 31,6% dans les deux lots en absence d'un follicule dominant, contre respectivement 31,2% et 31,5% en présence d'un follicule dominant.

5.2.10.3. Influence du délai prescription-début de protocole en absence d'un corps jaune au moment de la prescription

Dans les lots J0 et CUMUL, le taux de conception est meilleur quand le délai est compris entre 5 et 11 jours (autour de 36%) par rapport à un délai inférieur à 5 jours (31-32%). Cette différence n'est cependant pas statistiquement significative avec $p=0,61$ pour le lot J0 et $p=0,55$ pour le lot CUMUL.

Malgré l'absence de différence significative, on constate tout de même un taux de conception meilleur entre 5 et 11 jours en l'absence de corps jaune au moment de la prescription. Comme expliqué plus haut dans la discussion de la partie 5.2.9.1., cette observation vient corroborer les conclusions des études affirmant que l'efficacité de l'Ovsynch est améliorée en débutant le protocole en début de diœstrus. Il convient cependant de nuancer cette conclusion car le moment du cycle ovarien dans notre étude est seulement supposé à partir du délai entre la prescription du protocole (où a lieu l'échographie des ovaires) et la réalisation de ce dernier. Un suivi échographique entre ces deux étapes, et plus encore au moment de l'initiation du protocole, serait plus approprié pour préciser le moment du cycle et donc étudier correctement l'influence du stade du cycle ovarien sur la fertilité.

5.2.11. Influence de l'élevage

Au sein du lot J0, les différences entre les taux de conception des différents élevages sont statistiquement significatives ($p=0,007$). Le minimum atteint est de 13,2%, tandis que le maximum est de 50%.

La constatation est la même dans le lot CUMUL avec un taux de conception minimum de 18% et maximum de 51,1% ($p=0,002$).

Les résultats au sein de ces deux lots sont présentés ci-dessous en Figure 51.

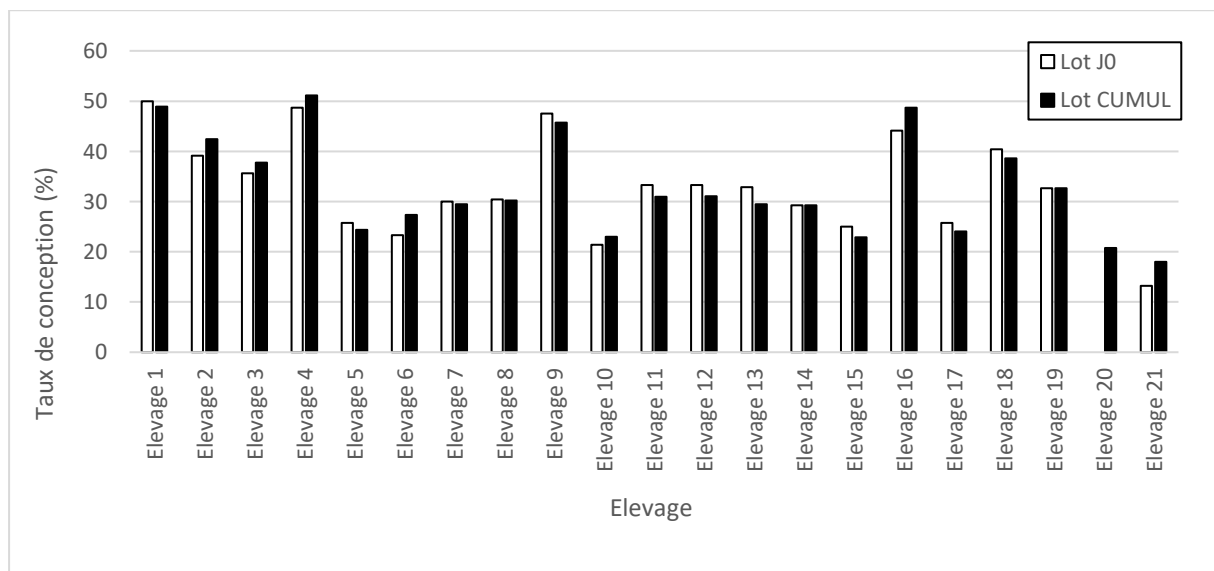


Figure 51 : Taux de conception en fonction de l'élevage

Cet effet troupeau est un des principaux biais de notre étude. En effet, nous avons mis en évidence une forte corrélation entre les élevages et les taux de conception après protocole. De plus, 7 élevages sur les 26 sélectionnés pour notre travail regroupent plus de la moitié de la population étudiée ce qui influence grandement les résultats obtenus. Il est évident que les performances de reproduction dépendent principalement de la gestion de l'élevage (alimentation, santé des animaux, ambiance du bâtiment), et notamment la gestion de la reproduction (détection des chaleurs, respect des protocoles...). Une analyse statistique multivariée aurait donc été appropriée pour évaluer l'influence mutuelle des facteurs corrélés aux taux de conception, plus particulièrement l'influence partielle de l'effet troupeau sur les autres facteurs. Cette analyse statistique n'a pas pu être faite dans le cadre de notre travail à cause de la difficulté et du manque de temps pour réaliser une telle analyse.

5.2.12. Influence du rang d'insémination animale

Au sein des lots JO et CUMUL, le taux de conception varie peu selon si l'IA du protocole est la première de la lactation (autour de 31%) ou si au moins une IA a déjà été faite avant le protocole (environ 32%). Cette différence est statistiquement non significative avec $p=0,7$ dans le lot JO et $p=0,9$ dans le lot CUMUL.

L'étude n'a donc pas montré de corrélation entre le rang de l'IA du protocole sur la réussite de celle-ci. Ayant seulement comparé les IA₁ avec les autres rangs d'IA, il aurait été peut-être intéressant de comparer différents rangs d'IA entre eux pour voir si l'on obtenait des différences significatives.

5.3. Conclusion des différentes analyses univariées

L'objectif de l'analyse statistique univariée était d'évaluer la corrélation entre les différentes variables étudiées et le taux de conception après protocole GPG. Cette analyse a été réalisée à partir du logiciel R® en utilisant le test du X^2 d'indépendance.

D'une part, l'étude n'a pas révélé d'influence de la part de nombreuses variables sur la fertilité, comme les BHB *post-partum* ou encore le score vaginal et les affections *péri-partum*, à partir des données que nous avons étudiées.

D'autre part, cette analyse aura permis de mettre en évidence diverses corrélations entre des paramètres et le taux de réussite à l'insémination. Parmi les variables générales, on note que la réalisation du protocole sur la période estivale est sujette à de moins bons taux de conception. De plus, les primipares semblent plus fertiles après protocole GPG que les multipares, avec une tendance à la dégradation du taux de réussite à l'insémination au cours de la carrière de l'animal.

D'autres variables étudiées dans les premiers mois de lactation ont montré des résultats intéressants. Ainsi, les vaches ne perdant pas plus de 0,5 point de NEC après vêlage sont plus fertiles. Il est également plus intéressant d'appliquer le protocole GPG sur des vaches dont la production maximale journalière sur les 3-4 premiers mois de lactation est inférieure à 40kg et dont la production augmente entre le vêlage et le pic de lactation. La composition du lait est également un indicateur avec des animaux plus fertiles quand le rapport TB/TP au cours du premier mois de lactation est inférieur à 1,5 et quand le TP maximum sur les 3-4 premiers mois de lactation dépasse les 33g/kg de lait.

Avant d'appliquer le protocole GPG, il semble intéressant de vérifier que la NEC de la vache est supérieure à 3,5 points et que sa production laitière journalière est inférieure à 40kg. Ensuite, au moment de réfléchir aux modalités d'application du protocole GPG, on note que les vaches dont le protocole débute entre 5 et 11 jours après sa prescription ont de meilleurs taux de réussite à l'insémination, notamment lorsqu'aucun corps jaune n'a été observé à l'échographie le jour de la prescription du protocole. De plus, une programmation du protocole GPG permettant la réalisation de l'IA entre 120 et 150 jours *post-partum* est idéale.

Enfin, on réalise que les résultats obtenus sont très différents d'un élevage à un autre, représentant ainsi un des principaux biais de cette étude.

Conclusion

La gestion de la reproduction est un pilier majeur en élevage laitier. Pour faire face au déclin de la fertilité des animaux amorcé il y a plusieurs décennies et pour faciliter le travail des éleveurs, des protocoles hormonaux ont été développés. L'un des plus réalisés en France est le protocole GPG (ou « Ovsynch »). Les hormones utilisées dans ces protocoles sont présentes naturellement chez la vache et contrôlent le cycle sexuel de l'animal. Elles assurent ainsi une synchronisation des chaleurs au sein d'un groupe d'individus et la programmation des inséminations animales à l'avance. Cependant, de nombreux facteurs peuvent influencer la réussite à l'insémination de ces protocoles.

L'objectif de cette thèse était ainsi de déterminer l'impact de divers paramètres sur la fertilité des vaches laitières après réalisation d'un protocole GPG. Pour cela, nous avons analysé des données obtenues sur le terrain à partir de suivis de reproduction réalisés par une clinique bretonne. L'étude a montré l'intérêt de réaliser ce protocole sur des primipares ou encore en dehors de la période estivale. De nombreux paramètres associés à la production et la NEC de l'animal, évaluables aussi bien sur les premiers mois de lactation qu'avant l'application du protocole, sont également corrélés à une meilleure fertilité : chute de NEC *post-partum* inférieure à 0,5 points ou production journalière avant protocole inférieure à 40kg de lait par exemple. Concernant les modalités d'application du protocole GPG, il semble plus intéressant de débiter le protocole 5 à 11 jours après prescription, d'autant plus lorsqu'aucun corps jaune n'a été observé, et de commencer ce protocole afin de réaliser l'IA entre 120 et 150 jours *post-partum*.

Il est important de noter que cette étude a été réalisée avec les résultats issus de différents élevages et que leur gestion de la reproduction diffère. Une étude plus large, avec notamment des analyses reliant les différents facteurs, permettrait d'étoffer ce travail et éventuellement de comprendre certains résultats non expliqués.

Bibliographie

- ALAWNEH JI, LAVEN RA & STEVENSON MA (2011). The effect of lameness on the fertility of dairy cattle in a seasonally breeding pasture-based system. *Journal of Dairy Science*, 94(11), pp. 5487-5493.
- ALILA HW & HANSEL W (1984). Origin of different cell types in the bovine corpus luteum as characterized by specific monoclonal antibodies. *Biology of Reproduction*, 31(5), pp. 1015-1025.
- AROSH JA, BANU SK & MCCRACKEN JA (2016). Novel concepts on the role of prostaglandins on luteal maintenance and maternal recognition and establishment of pregnancy in ruminants. *Journal of Dairy Science*, 99(7), pp. 5926-5940.
- BADINGA L, COLLIER RJ, THATCHER WW & WILCOX CJ (1985). Effects of climatic and management factors on conception rate of dairy cattle in subtropical environment. *Journal of Dairy Science*, 68(1), pp. 78-85.
- BALENDRAN A et al. (2008). Decreased fertility with increasing parity in lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science*, 88(3), pp. 425-428.
- BALL, P. J. H. & PETERS, A. R. (2004). *Reproduction in cattle*. 3e éd. Oxford: Blacwell Publishing, 242 p.
- BARLETTA RV et al. (2017). Association of changes among body condition score during the transition period with NEFA and BHBA concentrations, milk production, fertility, and health of Holstein cows. *Theriogenology*, 104, pp. 30-36.
- BEEVER DE (2006). The impact of controlled nutrition during the dry period on dairy cow health, fertility and performance. *Animal Reproduction Science*, 96(3-4), pp. 212-226.
- BIEBER A et al. (2018). Production level, fertility, health traits, and longevity in local and commercial dairy breeds under organic production conditions in Austria, Switzerland, Poland, and Sweden. *Journal of Dairy Science*, 102(6), pp. 5330-5341.
- BISINOTTO RS, RIBEIRO ES & SANTOS JEP (2014). Synchronisation of ovulation for management of reproduction in dairy cows. *Animal*, 8(1 Suppl), pp. 151-159.
- BLANDIN, A. (2019). *Comparaison de deux protocoles de synchronisation des chaleurs chez la vache laitière : GPG et G6G*. Thèse de doctorat vétérinaire. Nantes : Faculté de Médecine, 140 p.
- BUCKLEY F et al. (2003). Insemination factors affecting the conception rate in seasonal calving Holstein-Friesian cows. *Reproduction Nutrition Development*, 43(6), pp. 543-555.
- BUTLER WR & SMITH RD (1989). Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 72(3), pp. 767-783.
- CANFIELD RW, SNIFFEN CJ & BUTLER WR (1990). Effects of excess degradable protein on postpartum reproduction and energy balance in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 73(9), pp. 2342-2349.
- CARVALHO PD et al. (2018). Development of fertility programs to achieve high 21-day pregnancy rates in high-producing dairy cows. *Theriogenology*, 114, pp. 165-172.

- CASTRO N et al. (2012). Metabolic and energy status during the dry period is crucial for the resumption of ovarian activity postpartum in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 95(10), pp. 5804-5812.
- CHANVALLON A, GATIEN J, BEAUCHET S & SALVETTI P (2014). La détection des chaleurs en troupeaux bovins allaitants. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 21, p. 285.
- CLAUS R et al. (1983). Analysis of factors influencing reproductive performance of the dairy cow by progesterone assay in milk-fat. *British Veterinary Journal*, 139(1), pp. 29-37.
- COLAZO MG & MAPLETOFT RJ (2014). A review of current timed-AI (TAI) programs for beef and dairy cattle. *Canadian Veterinary Journal*, 55(8), pp. 772-780.
- COLEMAN DA, THAYNE WV & DAILEY RA (1985). Factors affecting reproductive performance of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 68(7), pp. 1793-1803.
- CROWE MA, HOSTENS M & OPSOMER G (2018). Reproductive management in dairy cows - the future. *Irish Veterinary Journal*, 71(1), pp. 1-13.
- DALTON, J. C., NADIR, S., NOFTSINGER, M. & SAACKE, R. G. Insemination related factors affecting fertilization in estrous-synchronized cattle (2010). *Proceedings, Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle, January 28-29, 2010, San Antonio, Texas*. pp. 193-205.
- DISKIN MG & SREENAN JM (2000). Expression and detection of oestrus in cattle. *Reproduction Nutrition Development*, 40(5), pp. 481-491.
- DISKIN MG, AUSTIN EJ & ROCHE JF (2002). Exogenous hormonal manipulation of ovarian activity in cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, 23(1-2), pp. 211-228.
- ELMETWALLY MA (2018). Uterine involution and ovarian activity in postpartum Holstein dairy cows. A review. *Journal of Veterinary Healthcare*, 1(4), pp. 28-39.
- ERB HN et al. (1985). Path model of reproductive disorders and performance, milk fever, mastitis, milk yield, and culling in Holsteins cows. *Journal of Dairy Science*, 68(12), pp. 3337-3349.
- EVANS ACO, KOMAR CM, WANDJI S-A & FORTUNE JE (1997). Changes in androgen secretion and luteinizing hormone pulse amplitude are associated with the recruitment and growth of ovarian follicles during the luteal phase of the bovine estrous cycle. *Biology of reproduction*, 57(2), pp. 394-401.
- EVANS ACO et al. (2012). Effects of maternal environment during gestation on ovarian folliculogenesis and consequences for fertility in bovine offspring. *Reproduction in Domestic Animals*, 47(4 Suppl), pp. 31-37.
- FAUST MA, MACDANIEL BT, ROBISON OW & BRITT JH (1988). Environmental and yield effects on reproduction in primiparous Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 71(11), pp. 3092-3099.
- FORDE N et al. (2011). Oestrous cycles in *Bos taurus* cattle. *Animal Reproduction Science*, 124(3-4), pp. 163-169.

FORTUNE JE, RIVERA GM & YANG MY (2004). Follicular development : the role of the follicular microenvironment in selection of the dominant follicle. *Animal Reproduction Science*, 82-83, pp. 109-126.

FULKERSON WJ (1984). Reproduction in dairy cattle: effect of age, cow condition, production level, calving-to-first-service interval and the "male". *Animal Reproduction Science*, 7(4), pp. 305-314.

GILBERT RO et al. (2005). Prevalence of endometritis and its effects on reproductive performance of dairy cows. *Theriogenology*, 64(9), pp. 1879-1888.

GINTHER OJ et al. (2001). Follicle selection in monovular species. *Biology of Reproduction*, 65(3), pp. 638-647.

GRIMARD B et al. (2006). Genetic and environmental factors influencing first service conception rate and late embryonic/foetal mortality in low fertility dairy herds. *Animal Reproduction Science*, 91(1-2), pp. 31-44.

GUO R et al. (2020). Conception rate and reproductive hormone secretion in Holstein cows immunized against inhibin and subjected to the Ovsynch protocol. *Animals*, 10(2), p. 313.

GWAZDAUSKAS FC, WHITTIER WD, VINSON WE & PEARSON RE (1986). Evaluation of reproductive efficiency of dairy cattle with emphasis on timing of breeding. *Journal of Dairy Science*, 69(1), pp. 290-297.

HILLERS JK, SENGER PL, DARLINGTON RL & FLEMING WN (1984). Effects of production, season, age of cow, days dry, and days in milk on conception to first service in large commercial dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 67(4), pp. 861-867.

HOSSEIN-ZADEH NG (2013). Effects of main reproductive and health problems on the performance of dairy cows: a review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(3), pp. 718-735.

KADZERE CT, MURPHY MR, SILANIKOVE N & MALTZ E (2002). Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livestock Production Science*, 77(1), pp. 59-91.

KHAN MRK, UDDIN J & GOFUR MR (2015). Effect of age, parity and breed on conception rate and number of service per conception in artificially inseminated cows. *Bangladesh livestock journal*, 1, pp. 1-4.

LAMB GC et al. 2010. Control of the estrous cycle to improve fertility for fixed-time artificial insemination in beef cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 88(13 Suppl), pp. 181-192.

LUCY MC, MCDUGALL S & NATION DP (2004). The use of hormonal treatments to improve the reproductive performance of lactating dairy cows in feedlot or pasture-based management systems. *Animal Reproduction Science*, 82-83, pp. 495-512.

MACKENNA T, LENZ RW, FENTON SE & AX RL (1990). Nonreturn rates of dairy cattle following uterine body or cornual insemination. *Journal of Dairy Science*, 73(7), pp. 1779-1783.

MACKEY DR et al. (2007). Associations between genetic merit for milk production and animal parameters and the fertility performance of dairy cows. *Animal*, 1(1), pp. 29-43.

- MACMILLAN KL (2010). Recent advances in the synchronization of estrus and ovulation in dairy cows. *Journal of Reproduction and Development*, 56(Suppl), pp. 42-47.
- MELLENDEZ P, BARTOLOME J, ARCHBALD LF & DONOVAN A (2003). The association between lameness, ovarian cysts and fertility in lactating dairy cows. *Theriogenology*, 59(3-4), pp. 927-937.
- MIGLIOR F et al. (2017). A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(12), pp. 10251-10271.
- MIHM M & AUSTIN EJ (2002). The final stages of dominant follicle selection in cattle. *Domestic Animal Endocrinology*, 23(1-2), pp. 155-166.
- MISHRA S, KUMARI K & DUBEY A (2016). Body condition scoring of dairy cattle: a review. *Research and Reviews: Journal of Veterinary Sciences*, 2(1), pp. 58-65.
- MONTIEL-OLGUIN LJ et al. (2019). Body condition score and milk production on conception rate of cows under a small-scale dairy system. *Animals*, 9(10), pp. 800-810.
- MORROW DA (1975). Fat cow syndrome. *Journal of Dairy Science*, 59(9), pp. 1625-1629.
- NABENISHI H et al. (2011). Effect of the temperature-humidity index on body temperature and conception rate of lactating dairy cows in southwestern Japan. *Journal of Reproduction and Development*, 57(4), pp. 450-456.
- NAKAO T, MORIYOSHI M & KAWATA K (1992). The effect of postpartum ovarian dysfunction and endometritis on subsequent reproductive performance in high and medium producing dairy cows. *Theriogenology*, 37(2), pp. 341-349.
- NOAKES, D. E. (1997). *Fertility and obstetrics in cattle*. 2e éd. Oxford: Blackwell Science, 146 p.
- NORRING M et al (2014). Short communication: Lameness impairs feeding behavior of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(7), pp. 4317-4321.
- NOWICKI A, BARANSKI W, BARYCZKA A & JANOWSKI T (2017). OvSynch protocol and its modifications in the reproduction management of dairy cattle herds - an update. *Journal of Veterinary Research*, 61(3), pp. 329-336.
- NYMAN S, MALM SE, GUSTAFSSON H & BERGLUND B (2016). A longitudinal study of oestrous characteristics and conception in tie-stalled and loose-housed Swedish dairy cows. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A - Animal Science*, 66(3), pp. 135-144.
- OPSOMER G, MIJTEN P, CORYN M & DE KRUIF A (1996). Post-partum anoestrus in dairy cows: A review. *Veterinary Quarterly*, 18(2), pp. 68-75.
- ORGEL C, RUDDAT I & HOEDEMAKER M (2016). Prevalence and severity of lameness in early lactation in dairy cows and the effect on reproductive performance. *Tierärztliche Praxis Ausgabe G: Grosstiere - Nutztiere*, 44(4), pp. 207-217.
- PALMER MA, OLMOS G, BOYLE LA & MEE JF (2010). Estrus detection and estrus characteristics in housed and pastured Holstein-Friesian cows. *Theriogenology*, 74(2), pp. 255-264.

PONTLEVOY, R. (2017). *Etat des lieux à l'échelle mondiale des traitements hormonaux de synchronisation des chaleurs dans l'espèce bovine*. Thèse de doctorat vétérinaire. Créteil : Faculté de Médecine, 138 p.

RABOISSON D, ALBAAJ A, NONNE G & FOUCRAS G (2017). High urea and pregnancy or conception in dairy cows: a meta-analysis to define the appropriate urea threshold. *Journal of Dairy Science*, 100(9), pp. 7581-7587.

RATHBONE MJ et al. (2001). Recent advances in bovine reproductive endocrinology and physiology and their impact on drug delivery system design for the control of the estrous cycle in cattle. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 50(3), pp. 277-320.

REIMERS TJ, SMITH RD & NEWMAN SK (1985). Management factors affecting reproductive performance of dairy cows in the Northeastern United States. *Journal of Dairy Science*, 68(4), pp. 963-972.

RIBEIRO ES et al. (2013). Prevalence of periparturient diseases and effects on fertility of seasonally calving grazing cows supplemented with concentrates. *Journal of Dairy Science*, 96(9), pp. 5682-5697.

ROCHE JR et al. (2007). Associations among body condition score, body weight, and reproductive performance in seasonal-calving dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 90(1), pp. 376-391.

RODNEY RM et al. (2018). Effects of nutrition on the fertility of lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 101(6), pp. 5115-5133.

RON M, BAR-ANAN R & WIGGANS GR (1984). Factors affecting conception rate of Israeli Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 67(4), pp. 854-860.

ROTH Z (2017). Effect of heat stress on reproduction in dairy cow: insights into the cellular and molecular responses of the oocyte. *Annual Review of Animal Biosciences*, 5, pp. 151-170.

RUTHERFORD AJ, OIKONOMOU G & SMITH RF (2016). The effect of subclinical ketosis on activity at estrus and reproductive performance in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 99(6), pp. 4808-4815.

SAKAGUCHI M et al. (2004). Postpartum ovarian follicular dynamics and estrous activity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87(7), pp. 2114-2121.

SALO S (2018). Effects of quality and amounts of dietary protein on dairy cattle reproduction and the environment. *Journal of Dairy and Veterinary Sciences*, 5(5), pp. 1-7.

SANTOS JEP, RUTIGLIANO HM & SA FILHO MF (2009). Risk factors for resumption of postpartum estrous cycles and embryonic survival in lactating dairy cows. *Animal Reproduction Science*, 110(3-4), pp. 207-221.

SHRESTHA HK et al. (2004). Resumption of postpartum ovarian cyclicity in high-producing Holstein cows. *Theriogenology*, 61(4), pp. 637-649.

SMITH MF (1986). Recent advances in corpus luteum physiology. *Journal of Dairy Science*, 69(3), pp. 911-926.

STEVENSON JS (2016). Synchronization and artificial insemination strategies in dairy herds. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 32(2), pp. 349-364.

STEVENSON JS & PULLEY SL (2016). Feedback effects of estradiol and progesterone on ovulation and fertility of dairy cows after gonadotropin-releasing hormone-induced release of luteinizing hormone. *Journal of Dairy Science*, 99(4), pp. 3003-3015.

STUMPF TT et al. (1989). Effect of estradiol on secretion of luteinizing hormone during the follicular phase of the bovine estrous cycle. *Biology of Reproduction*, 41(1), pp. 91-97.

THATCHER WW (2017). A 100-Year Review: Historical development of female reproductive physiology in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 100(12), pp. 10272-10291.

TILLARD E, HUMBLLOT P, LECOMTE P & BOCQUIER F (2007). Les facteurs nutritionnels antepartum sont associés à l'infertilité/infécondité dans les élevages bovins laitiers: exemple de l'île de la Réunion. *Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, 14, pp. 363-366.

WALTERS DL, SCHAMS D & SCHALLENBERGER E (1984). Pulsatile secretion of gonadotrophins, ovarian steroids and ovarian oxytocin during the luteal phase of the oestrous cycle in the cow. *Journal of Reproduction and Fertility*, 71(2), pp. 479-491.

WILTBANK MC & PURSLEY JR (2014). The cow as an induced ovulator: Timed AI after synchronization of ovulation. *Theriogenology*, 81(1), pp. 170-185.

Annexes

Annexe 1 : Présentation des résultats de l'analyse statistique univariée pour les lots J0 et CUMUL

Variables	Classes	Lots					
		J0			CUMUL		
		Réussite (%)	Echec	P-value	Réussite (%)	Echec	P-value
Délai prescription-début de protocole (j)	[0 ; 4]	305 (30,4)	697	0,15	349 (30,6)	790	0,12
	[5 ; 11]	63 (38)	103		71 (38)	116	
	[12 ; 18]	11 (29,7)	26		12 (28,6)	30	
Score vaginal	0	105 (30,1)	244	0,51	121 (31,3)	266	0,85
	1	122 (34,7)	230		138 (34,2)	266	
	2	37 (30,1)	86		45 (30,8)	101	
	3	10 (43,5)	13		10 (37)	17	
	4	6 (30)	14		6 (28,6)	15	
	< 2	227 (32,4)	474	0,98	259 (32,7)	532	0,79
≥ 2	53 (31,9)	113	61 (31,4)		133		
Rang de lactation	1	117 (34,7)	220	0,42	140 (36)	249	0,14
	2	105 (30,8)	236		116 (29,9)	272	
	3	85 (31)	189		94 (31,1)	208	
	≥ 4	72 (28,5)	181		82 (28,4)	207	
	1	117 (34,7)	220	0,15	140 (36)	249	0,03**
	> 1	262 (30,2)	606		292 (29,8)	687	
Saison au moment de l'insémination animale	Été	86 (26,6)	237	0,16	94 (26,8)	257	0,13
	Automne	64 (31,7)	138		76 (32,9)	155	
	Hiver	93 (34,6)	176		108 (34,8)	202	
	Printemps	136 (33,1)	275		154 (32,4)	322	
	Été	86 (26,6)	237	0,03**	94 (26,8)	257	0,03**
	Automne + Hiver + Printemps	293 (33,2)	589		338 (33,2)	679	
	Hiver 2019 (-10 jours)	37 (40,2)	55	0,2	40 (40,4)	59	0,19
	Printemps 2019	67 (32,2)	141		77 (32,4)	161	
	Eté 2019	63 (25,9)	180		69 (26,1)	195	
	Automne 2019	64 (31,7)	138		76 (32,9)	155	
	Hiver 2020	56 (31,6)	121		68 (32,2)	143	
	Printemps 2020	69 (34)	134		77 (32,4)	161	

* p < 0,1

** p ≤ 0,05

Variables	Classes	Lots					
		J0			CUMUL		
		Réussite (%)	Echec	P-value	Réussite (%)	Echec	P-value
Note d'état corporel avant protocole (points)	< 2,5	145 (28,5)	363	0,09*	163 (28,6)	406	0,04**
	[2,5 ; 3[	101 (31,3)	222		122 (31,9)	260
	[3 ; 3,5[	27 (33,8)	53		31 (33,3)	62
	≥ 3,5	18 (47,4)	20		22 (48,9)	23	
Chute de note d'état corporel après vêlage (points)	< 0,5	19 (51,4)	18	0,3	20 (52,6)	18	0,14
	[0,5 ; 1[	14 (38,9)	22		15 (39,5)	23
	≥ 1	13 (34,2)	25		13 (31)	29	
	< 1	33 (45,2)	40	0,36	35 (46,1)	41	0,16
≥ 1	13 (34,2)	25	13 (31)		29		
Corps jaune lors de la prescription	Absent	81 (34,2)	156	0,35	89 (33,5)	177	0,51
	Présent	298 (30,8)	670		343 (31,1)	759	
Follicule dominant lors de la prescription	Absent	241 (31,6)	521	0,91	276 (31,6)	597	1
	Présent	138 (31,2)	305		156 (31,5)	339	
Délai prescription-début de protocole avec absence d'un corps jaune au moment de la prescription (j)	[0 ; 4]	34 (32,4)	71	0,61	36 (31,3)	79	0,55
	[5 ; 11]	47 (36,4)	82		52 (35,6)	94	
β-hydroxybutyrates en début de lactation (mmol/L)	< 1,2	63 (29,9)	148	0,69	70 (29,2)	170	0,83
	≥ 1,2	43 (27,4)	114		51 (27,7)	133	
Protocole	GPG	287 (31,5)	625	1	331 (31,6)	717	1
	I-GPG	92 (31,4)	201		101 (31,6)	219	
	GPG avec délai de 0j	97 (33,8)	190	0,6	106 (32,7)	218	0,82
	I-GPG	92 (31,4)	201		101 (31,6)	219	
Variation de production avant le pic de lactation	Augmentation	60 (39,2)	93	0,65	70 (40,7)	102	0,43
	Chute	30 (35,3)	55		34 (35,1)	63	
Production lors du dernier contrôle laitier avant protocole (kg/j)	< 30	68 (36,4)	119	0,02**	80 (36)	142	0,01**
	[30 ; 40[	103 (34,8)	193		112 (34)	217
	≥ 40	40 (24)	127		44 (23,4)	144	
Maximum de production autour du pic de lactation (kg/j)	< 30	37 (39,8)	56	0,004**	42 (37,2)	71	0,001**
	[30 ; 40[	97 (37,5)	162		109 (38,1)	177
	≥ 40	77 (25,8)	221		85 (25)	255	

Variables	Classes	Lots					
		J0			CUMUL		
		Réussite (%)	Echec	P-value	Réussite (%)	Echec	P-value
Taux protéique entre 0 et 30 jours en lait (g/kg)	< 28	14 (34,1)	27	0,71	15 (31,9)	32	0,68
	[28 ; 30[	27 (35,1)	50		30 (34,9)	56
	[30 ; 32[	38 (30,2)	88		42 (30,7)	95
	≥ 32	57 (36,8)	98		68 (37)	116	
Taux protéique entre 30 et 60 jours en lait (g/kg)	< 28	41 (38)	67	0,05**	46 (37,1)	78	0,06*
	[28 ; 30[	38 (27,3)	101		46 (28,2)	117
	[30 ; 32[	42 (32,1)	89		45 (31)	100
	≥ 32	37 (44,6)	46		40 (44)	51	
Taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole (g/kg)	< 28	21 (32,8)	43	0,32	23 (33,8)	45	0,27
	[28 ; 30[	35 (25,9)	100		37 (25,2)	110
	[30 ; 32[	68 (35,2)	125		74 (34,1)	143
	≥ 32	87 (33,7)	171		102 (33,3)	204	
Taux protéique minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 28	60 (37,3)	101	0,05**	65 (35,7)	117	0,08*
	[28 ; 30[	58 (26,4)	162		67 (26,7)	184
	≥ 30	93 (34,6)	176		104 (34,1)	201	
Taux protéique maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 30	38 (29,2)	92	0,36	39 (27,5)	103	0,27
	[30 ; 32[	60 (30,3)	138		69 (30,7)	156
	≥ 32	113 (35,1)	209		128 (34,5)	243	
	< 32	98 (29,9)	230	0,18	108 (29,4)	259	0,16
	≥ 32	113 (35,1)	209		128 (34,5)	243	
	< 33	121 (29,6)	288	0,05**	133 (29,3)	321	0,06*
≥ 33	90 (37,3)	151	103 (36,3)		181		
Rapport taux butyreux/taux protéique entre 0 et 30 jours en lait	< 1,5	115 (35,2)	212	0,4	128 (35)	238	0,52
	≥ 1,5	21 (29,2)	51		27 (30,7)	61	
Rapport taux butyreux/taux protéique entre 30 et 60 jours en lait	< 1,5	140 (34,7)	264	0,83	156 (34,2)	300	0,81
	≥ 1,5	18 (32,1)	38		21 (31,8)	45	
Rapport taux butyreux/taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole	< 1,5	193 (32,3)	405	0,85	218 (32)	463	1
	≥ 1,5	18 (34,6)	34		18 (31,6)	39	

Variables	Classes	Lots					
		J0			CUMUL		
		Réussite (%)	Echec	P-value	Réussite (%)	Echec	P-value
Taux butyreux entre 0 et 30 jours en lait (g/kg)	< 35	14 (34,1)	27	0,82	15 (32,6)	31	0,86
	[35 ; 40[	38 (31,9)	81		42 (32,3)	88
	[40 ; 45[	46 (37,4)	77		51 (37)	87
	≥ 45	38 (32,8)	78		47 (33,6)	93	
Taux butyreux entre 30 et 60 jours en lait (g/kg)	< 35	36 (33,6)	71	0,83	40 (33,9)	78	0,56
	[35 ; 40[	59 (32,2)	124		66 (31,9)	141
	[40 ; 45[	35 (33,7)	69		37 (30,8)	83
	≥ 45	28 (38,4)	45		34 (39,5)	52	
Taux butyreux lors du dernier contrôle laitier avant protocole (g/kg)	< 35	41 (28,9)	101	0,69	42 (28)	108	0,58
	[35 ; 40[	66 (31,9)	141		74 (31,6)	160
	[40 ; 45[	60 (34,9)	112		67 (32,8)	137
	≥ 45	44 (34,1)	85		53 (35,3)	97	
	< 40	107 (30,7)	242	0,33	116 (30,2)	268	0,32
	≥ 40	104 (34,6)	197		120 (33,9)	234	
Taux butyreux minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 35	68 (30,9)	152	0,6	74 (30,3)	170	0,55
	[35 ; 38[	52 (31)	116		57 (30,5)	130
	≥ 38	91 (34,7)	171		105 (34,2)	202	
Taux butyreux maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 40	66 (31,7)	142	0,69	69 (30,8)	155	0,86
	[40 ; 45[	68 (34,9)	127		75 (33,2)	151
	≥ 45	77 (31,2)	170		92 (31,9)	196	
Urée lors du dernier contrôle laitier avant protocole (mg/L)	< 100	37 (29,8)	87	0,67	41 (30,4)	94	0,42
	[100 ; 150[	54 (31,4)	118		65 (31,9)	139
	≥ 150	19 (25,7)	55		20 (24,1)	63	
Jours en lait au moment de l'insémination animale (j)	< 90	38 (29,9)	89	0,01**	47 (32,6)	97	0,08*
	[90 ; 119]	118 (28,6)	295		128 (28,8)	316	
	[120 ; 149]	108 (39,7)	164		114 (37,7)	188	
	≥ 150	115 (29,3)	278		143 (31,2)	315	
Rang de l'insémination animale issue du protocole Ovsynch	1	154 (30,7)	347	0,7	174 (31,3)	382	0,9
	> 1	225 (32)	479		258 (31,8)	554	

Variables	Classes	Lots					
		J0			CUMUL		
		Réussite (%)	Echec	P-value	Réussite (%)	Echec	P-value
Affections <i>péri/post-partum</i>	Rétention placentaire	27 (34,2)	52	0,68	31 (34,1)	60	0,68
	Absence de rétention placentaire	352 (31,3)	774		401 (31,4)	876	
	Fièvre de lait	5 (31,3)	11	1	5 (29,4)	12	1
	Absence de fièvre de lait	374 (31,5)	815		427 (31,6)	924	
	Métrite	6 (35,3)	11	0,94	7 (38,9)	11	0,68
	Absence de métrite	373 (31,4)	815		425 (31,5)	925	
	Aucune affection	343 (31,4)	751	0,9	391 (31,5)	850	0,94
	Au moins une affection	36 (32,4)	75		41 (32,3)	86	
Elevage	Elevage 1	22 (50)	22	0,007**	22 (48,9)	23	0,002**
	Elevage 2	9 (39,1)	14		14 (42,4)	19	
	Elevage 3	16 (35,6)	29		20 (37,7)	33	
	Elevage 4	19 (48,7)	20		23 (51,1)	22	
	Elevage 5	9 (25,7)	26		11 (24,4)	34	
	Elevage 6	7 (23,3)	23		9 (27,3)	24	
	Elevage 7	48 (30)	112		52 (29,5)	124	
	Elevage 8	17 (30,4)	39		19 (30,2)	44	
	Elevage 9	19 (47,5)	21		21 (45,7)	25	
	Elevage 10	12 (21,4)	44		14 (23)	47	
	Elevage 11	9 (33,3)	18		9 (31)	20	
	Elevage 12	18 (33,3)	36		19 (31,1)	42	
	Elevage 13	24 (32,9)	49		26 (29,5)	62	
	Elevage 14	31 (29,2)	75		36 (29,3)	87	
	Elevage 15	11 (25)	33		11 (22,9)	37	
	Elevage 16	15 (44,1)	19		19 (48,7)	20	
	Elevage 17	19 (25,7)	55		20 (24,1)	63	
	Elevage 18	23 (40,4)	34		27 (38,6)	43	
	Elevage 19	34 (32,7)	70		35 (32,7)	72	
	Elevage 20	Non étudié			5 (20,8)	19	
	Elevage 21	7 (13,2)	46		11 (18)	50	

Annexe 2 : Présentation des résultats de l'analyse statistique univariée pour le lot J-1/J-2

Variables	Classes	Lot J-1/J-2		
		Réussite (%)	Echec	P-value
Délai prescription-début de protocole (j)	[0 ; 4]	44 (32,1)	93	0,98
	[5 ; 18]	9 (34,6)	17	
Score vaginal	0	16 (42,1)	22	0,42
	1	16 (30,8)	36	
	≥ 2	8 (28,6)	20	
	< 2	32 (35,6)	58	0,65
	≥ 2	8 (28,6)	20	
Rang de lactation	1	23 (44,2)	29	0,14
	2	11 (23,4)	36	
	3	9 (32,1)	19	
	≥ 4	10 (27,8)	26	
	1	23 (44,2)	29	0,04**
	> 1	30 (27)	81	
Saison au moment de l'insémination animale	Été	8 (28,6)	20	0,53
	Automne	12 (41,4)	17	
	Hiver	15 (36,6)	26	
	Printemps	18 (27,7)	47	
	Été	8 (28,6)	20	0,79
	Automne + Hiver + Printemps	45 (33,3)	90	
	Hiver 2019 (-10 jours)	3 (42,9)	4	Non étudié
	Printemps 2019	10 (33,3)	20	
	Été 2019	6 (28,6)	15	
	Automne 2019	12 (41,4)	17	
	Hiver 2020	12 (35,3)	22	
	Printemps 2020	8 (22,9)	27	
	Note d'état corporel avant protocole (points)	< 2,5	18 (29,5)		43	0,63
[2,5 ; 3[		21 (35,6)	38
≥ 3		8 (40)	12	
Chute de note d'état corporel après vêlage (points)	< 0,5	1 (100)	0	Non étudié
	[0,5 ; 1[	1 (50)	1
	≥ 1	0 (0)	4	
	< 1	2 (66,7)	1	Non étudié
	≥ 1	0 (0)	4	

Variables	Classes	Lot J-1/J-2		
		Réussite (%)	Echec	P-value
Corps jaune lors de la prescription	Absent	8 (27,6)	21	0,68
	Présent	45 (33,6)	89	
Follicule dominant lors de la prescription	Absent	35 (31,5)	76	0,83
	Présent	18 (34,6)	34	
Délai prescription-début de protocole avec absence d'un corps jaune au moment de la prescription (j)	[0 ; 4]	2 (20)	8	Non étudié
	[5 ; 11]	5 (29,4)	12	
β-hydroxybutyrates en début de lactation (mmol/L)	< 1,2	7 (24,1)	22	0,87
	≥ 1,2	8 (29,6)	19	
Protocole	GPG	44 (32,4)	92	1
	I-GPG	9 (33,3)	18	
	GPG avec délai de 0j	9 (24,3)	28	0,61
	I-GPG	9 (33,3)	18	
Variation de production avant le pic de lactation	Augmentation	10 (52,6)	9	Non étudié
	Chute	4 (33,3)	8	
Production lors du dernier contrôle laitier avant protocole (kg/j)	< 30	12 (34,3)	23	0,42
	≥ 30	13 (24,1)	41	
Maximum de production autour du pic de lactation (kg/j)	< 30	5 (25)	15	0,07*
	[30 ; 40[	12 (44,4)	15
	≥ 40	8 (19)	34	
Taux protéique entre 0 et 30 jours en lait (g/kg)	< 32	8 (30,8)	18	0,78
	≥ 32	11 (37,9)	18	
Taux protéique entre 30 et 60 jours en lait (g/kg)	< 28	5 (31,3)	11	Non étudié
	[28 ; 32[	11 (28,9)	27
	≥ 32	3 (37,5)	5	
Taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole (g/kg)	< 32	10 (25)	30	0,68
	≥ 32	15 (31,3)	33	
Taux protéique minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 28	5 (23,8)	16	0,86
	[28 ; 30[	9 (29)	22
	≥ 30	11 (30,6)	25	

Variables	Classes	Lot J-1/J-2		
		Réussite (%)	Echec	P-value
Taux protéique maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 30	1 (8,3)	11	Non étudié
	[30 ; 32[	9 (33,3)	18
	≥ 32	15 (30,6)	34	
	< 32	10 (25,6)	29	0,78
	≥ 32	15 (30,6)	34	
	< 33	12 (26,7)	33	0,89
Rapport taux butyreux/taux protéique entre 0 et 30 jours en lait	< 1,5	13 (33,3)	26	1
	≥ 1,5	6 (37,5)	10	
Rapport taux butyreux/taux protéique entre 30 et 60 jours en lait	< 1,5	16 (30,8)	36	Non étudié
	≥ 1,5	3 (30)	7	
Rapport taux butyreux/taux protéique lors du dernier contrôle laitier avant protocole	< 1,5	25 (30,1)	58	Non étudié
	≥ 1,5	0 (0)	5	
Taux butyreux entre 0 et 30 jours en lait (g/kg)	< 40	5 (31,3)	11	0,91
	[40 ; 45[	5 (33,3)	10
	≥ 45	9 (37,5)	15	
Taux butyreux entre 30 et 60 jours en lait (g/kg)	< 40	11 (31,4)	24	0,95
	≥ 40	8 (27,6)	21	
Taux butyreux lors du dernier contrôle laitier avant protocole (g/kg)	< 40	9 (25,7)	26	0,23
	[40 ; 45[	7 (21,9)	25
	≥ 45	9 (42,9)	12	
	< 40	9 (25,7)	26	0,83
	≥ 40	16 (30,2)	37	
Taux butyreux minimal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 35	6 (25)	18	0,84
	[35 ; 38[	5 (26,3)	14
	≥ 38	14 (31,1)	31	
Taux butyreux maximal sur les 3 premiers contrôles laitiers de la lactation (g/kg)	< 45	10 (21,3)	37	0,18
	≥ 45	15 (36,6)	26	
Urée lors du dernier contrôle laitier avant protocole (mg/L)	< 100	4 (36,4)	7	Non étudié
	[100 ; 150[	11 (34,4)	21
	≥ 150	1 (11,1)	8	
Jours en lait au moment de l'insémination animale (j)	< 90	9 (52,9)	8	0,08*
	[90 ; 119]	10 (32,3)	21	
	[120 ; 149]	6 (20)	24	
	≥ 150	28 (43,1)	37	

Variables	Classes	Lot J-1/J-2		
		Réussite (%)	Echec	P-value
Rang de l'insémination animale issue du protocole Ovsynch	1	20 (36,4)	35	0,58
	> 1	33 (30,6)	75	
Affections <i>péri/post-partum</i>	Rétention placentaire	4 (33,3)	8	Non étudié
	Absence de rétention placentaire	49 (32,5)	102	
	Fièvre de lait	0 (0)	1	Non étudié
	Absence de fièvre de lait	53 (32,7)	109	
	Métrite	1 (100)	0	Non étudié
	Absence de métrite	52 (32,1)	110	
	Aucune affection	48 (32,7)	99	1
	Au moins une affection	5 (31,3)	11	
Elevage	Elevage 1	0 (0)	1	Non étudié
	Elevage 2	5 (50)	5	
	Elevage 3	4 (50)	4	
	Elevage 4	4 (66,7)	2	
	Elevage 5	2 (20)	8	
	Elevage 6	2 (66,7)	1	
	Elevage 7	4 (25)	12	
	Elevage 8	2 (28,6)	5	
	Elevage 9	2 (33,3)	4	
	Elevage 10	2 (40)	3	
	Elevage 11	0 (0)	2	
	Elevage 12	1 (14,3)	6	
	Elevage 13	2 (13,3)	13	
	Elevage 14	5 (29,4)	12	
	Elevage 15	0 (0)	4	
	Elevage 16	4 (80)	1	
	Elevage 17	1 (11,1)	8	
	Elevage 18	4 (30,8)	9	
	Elevage 19	1 (33,3)	2	
	Elevage 20	2 (100)	0	
	Elevage 21	4 (50)	4	

FACTEURS DE REUSSITE A L'INSEMINATION ARTIFICIELLE SUITE A L'UTILISATION D'UN PROTOCOLE OVSYNCH CHEZ LES VACHES LAITIÈRES : ETUDE A PARTIR DES DONNEES ISSUES DES SUIVIS DE REPRODUCTION D'UNE CLINIQUE VETERINAIRE BRETONNE

Auteur

FABRE Axel

Résumé

La gestion de la reproduction en élevage laitier est un enjeu économique majeur dans cette filière. Une meilleure compréhension des hormones et des mécanismes qui contrôlent le cycle sexuel de la vache a permis le développement de protocoles hormonaux pour aider les éleveurs, notamment le protocole GPG qui est couramment appliqué sur le terrain. Cependant, la réussite de ces protocoles est influencée par divers facteurs liés à l'animal et à la gestion de l'élevage.

L'objectif de ce travail est de déterminer quels facteurs impactent la fertilité des vaches laitières après l'application d'un protocole GPG. Pour cela, une analyse a été faite à partir de données issues de suivis de reproduction réalisés par une clinique bretonne.

Il apparaît que les primipares sont des sujets plus favorables pour la réussite de ce protocole et qu'il est préférable de ne pas réaliser ce dernier pendant l'été. Certains paramètres de production et de NEC sont également de bons indicateurs de réussite, comme par exemple une chute de NEC *post-partum* inférieure à 0,5 points ou une production journalière avant protocole inférieure à 40kg de lait. Un début de protocole 5 à 11 jours après prescription semble idéal, en particulier lorsqu'aucun corps jaune n'est observé. De plus, une programmation du protocole pour inséminer l'animal entre 120 et 150 jours *post-partum* semble recommandée.

Mots-clés

Elevage laitier, Reproduction, Hormones sexuelles, Synchronisation

Jury

Président du jury : Pr COCHAT Pierre
Directeur de thèse : Dr BRUYERE Pierre
2^e assesseur : Dr LEDOUX Dorothée