

Intérêt du dosage de la progestérone dans le lait lors des premiers contrôles laitiers pour prédire la cyclicité des vaches laitières après vêlage

CUTULLIC E. (1,2,3), DELABY L. (1,2), GALLARD Y. (4), DISENHAUS C. (1,2)

(1) INRA, UMR 1348 PEGASE, 35590 St-Gilles, France

(2) Agrocampus-Ouest, UMR 1348 PEGASE, 35000 Rennes, France

(3) Haute école des sciences agronomiques, forestières et alimentaires, 3052 Zollikofen, Suisse

(4) INRA, UE326 Domaine expérimental du Pin-au-Haras, 61310 Exmes, France

RESUME

L'augmentation des anomalies de cyclicité a été observée chez la vache laitière dans différents systèmes laitiers, principalement en race Holstein. Le dosage de la progestérone en routine dans le lait est amené à se développer et pourrait permettre l'identification des animaux qui présentent un retard de reprise, une interruption de cyclicité ou une phase lutéale prolongée (PLP). L'objectif de cette étude est d'évaluer la prédictibilité du type de profil de cyclicité à partir de données zootechniques et du dosage de la progestérone lors des deux ou trois premiers contrôles laitiers. Les profils de cyclicité associés à 380 lactations de vaches Holstein et Normande conduites dans deux stratégies d'alimentation contrastées ont été utilisés. Des contrôles laitiers espacés de 4-5 ou 5-6 semaines ont été simulés, les performances zootechniques recalculées et la concentration en progestérone estimée. Des indicateurs de cyclicité basés sur la proportion ou la séquence de points positifs (PAL ou SAL) ont été calculés. Des régressions logistiques incluant ces indicateurs et les caractéristiques zootechniques ont été établies pour prédire les différentes anomalies. Les retards de reprise de cyclicité peuvent être détectés avec une sensibilité de 92 % et une spécificité de 76 % dans un modèle incluant la SAL sur les deux premiers contrôles, la note d'état corporel au vêlage et la parité. Les PLP sont plus difficilement caractérisables, avec une sensibilité de 73 % et une spécificité de 75 % pour un modèle incluant la PAL sur 100 jours, l'intervalle vêlage - premier contrôle, le rapport taux protéique sur taux butyreux minimal et la race. A la fréquence des contrôles laitiers, quel que soit l'indicateur utilisé, la prédiction à l'échelle de l'individu reste difficile mais peut s'affiner par des variables zootechniques.

Potential use of progesterone concentration in milk of first records to predict dairy cows' ovarian activity after calving

CUTULLIC E. (1,2,3), DELABY L. (1,2), GALLARD Y. (4), DISENHAUS C. (1,2)

(1) INRA, UMR 1348 PEGASE, 35590 St-Gilles, France

(2) Agrocampus-Ouest, UMR 1348 PEGASE, 35000 Rennes, France

(3) School of Agricultural, Forest and Food Sciences, 3052 Zollikofen, Switzerland

SUMMARY

Ovarian activity abnormalities have increased in the last decades in various dairy systems, especially in the Holstein breed. Progesterone concentration is likely to be routinely assayed in milk and could help identifying cows with delayed resumption, cessation of ovarian activity or prolonged luteal phases (PLP). This study was aimed at investigating the use of milk progesterone concentration in milk at the two or three first milk records in order to predict ovarian activity profile. The ovarian activity profiles associated with 380 lactations of Holstein and Normande cows managed by two contrasting feeding systems were analysed. Four to five or five to six week spaced fictive milk records were generated, production and body condition score (BCS) parameters over 100 days were reevaluated and milk progesterone concentration was estimated at each record. Ovarian activity estimators based on the proportion of positive records on a given period were calculated (proportion of luteal activity, PLA). Logistic regression models including these estimators, production and BCS parameters were built in order to predict abnormalities. Delayed resumptions were characterised with a sensibility of 98 % and a specificity of 73 % in a model including PLA over the first 60 days after calving, BCS at nadir and parity. PLP were more difficult to predict, with 73 % sensibility and 75 % specificity for a model including PLA over the first 100 days, interval from calving to first record, milk protein to fat ratio at nadir and breed. The ovarian activity prediction at the animal level is still challenging but can be refined with the help of production and BCS parameters.

INTRODUCTION

Les performances de reproduction des vaches laitières se dégradent depuis plus de 20 ans et ce plus particulièrement en race Holstein. Cette évolution préoccupante s'explique en partie par les anomalies de cyclicité, dont la fréquence a quasiment doublé (Royal *et al.*, 2002). Le dosage de la progestérone en routine, par exemple dans le lait prélevé pour le contrôle des performances, est amené à se développer (Frignens *et al.*, 2008). Des estimateurs de la cyclicité reposant sur ces données mensuelles restent toutefois à développer. Les estimateurs jusqu'alors proposés par Van der Lende *et al.* (2004) et Petersson *et al.* (2008), respectivement le stade auquel 50 % des filles d'un taureau ont eu un point positif et la proportion de points positifs sur les 60 premiers jours après vêlage, sont focalisés sur la reprise de cyclicité et l'utilisation en sélection. Ces estimateurs supposent qu'une reprise précoce est favorable aux performances globales de reproduction. S'il est vrai qu'une reprise trop tardive est jugée défavorable, une reprise trop précoce peut aussi s'avérer défavorable. Cette

reprise précoce peut en effet être associée à une phase lutéale prolongée (Opsomer *et al.*, 2000), anomalie devenue fréquente en race Holstein (15 à 35 %).

Le principal objectif de cette étude est d'évaluer le potentiel d'utilisation de la concentration en progestérone dans le lait aux deux ou trois premiers contrôles laitiers, en complément de variables zootechniques, pour pouvoir prédire le type de profil de cyclicité des vaches.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Depuis 2006, une expérimentation race x système est en cours sur le domaine expérimental INRA du Pin-au-Haras (61). Elle implique chaque année 32 vaches de race Holstein et 36 de race Normande, affectées jusqu'à leur réforme à deux stratégies d'alimentation extrêmes, avec vêlages groupés en hiver. Le système alimentaire dit Haut autorise un niveau de production laitière élevé tout en limitant la perte d'état corporel après le vêlage. Le système dit Bas, sans apport de concentré, limite l'expression du potentiel laitier mais induit une plus forte mobilisation des réserves corporelles. Le dispositif génère ainsi

une très grande variabilité de performances zootechniques. Les trois premières années ont été décrites par Cutullic *et al.* (2011). La présente étude valorise 380 lactations (dont 42 % de premières) issues de 211 vaches laitières entre 2006 et 2011 (Balberini et Delaby, 2012).

1.2. PARAMÈTRES ZOOTECHNIQUES RELEVÉS

1.2.1. Paramètres classiques

Les paramètres zootechniques classiques ont été enregistrés : production laitière journalière et composition du lait trihebdomadaire, note d'état corporel mensuelle (NEC, échelle 0-5), événements de reproduction (chaleurs, inséminations) et événements de santé, notamment autour du vêlage.

1.2.2. Profils de cyclicité

La cyclicité des vaches a été déterminée par dosage de la progestérone (P₄) dans le lait de la traite du matin, trois fois par semaine, du vêlage à l'établissement de la gestation ou le cas échéant jusqu'à fin juillet. Les 380 profils de cyclicité ont été analysés et classés selon la méthodologie décrite par Cutullic *et al.* (2011). Le délai de reprise de cyclicité après vêlage a été déterminé et les profils ont été classés en cinq catégories : Normal, Phase lutéale prolongée (PLP ; corps jaune persistant plus de 25 jours), Retard (reprise de cyclicité > 50 jours après vêlage), Interruption (absence de corps jaune > 12 jours), Irrégulier (activité désordonnée sans les anomalies précitées). La concentration quotidienne en P₄ a été estimée par interpolation linéaire de 6 à 128 jours post-

partum (pp). Les points ont été considérés comme positifs s'ils dépassaient une valeur seuil. Cette valeur a été réévaluée chaque année selon la méthodologie décrite par Cutullic *et al.* (2011) pour s'affranchir d'un effet série de dosage (3.91, 2.21, 4.74, 6.37, 4.51 et 3.09 ng/mL de 2006 à 2011). Au-delà du dernier point dosé, les points ont été considérés positifs si la vache était gestante (avortement possible), manquants sinon.

1.3. SIMULATION DE CONTRÔLES LAITIERS

1.3.1. Dates de contrôle

Des dates ont été générées aléatoirement pour le troupeau, en simulant des intervalles entre contrôles soit de 4 à 5 semaines (inter4), soit de 5 à 6 semaines (inter5). Les intervalles successifs ont été tirés aléatoirement et de manière équiprobable dans les ensembles 28-34 jours pour inter4 et 35-41 jours pour inter5. Les vaches ont été considérées contrôlées à partir du 6^e jour après vêlage. Seuls les trois premiers contrôles ont ici été considérés. Les protocoles de type 4 et de type 5 représentent respectivement 55 % et 25 % des lactations qualifiées en 2011 en France (Institut de l'Élevage, 2012). Leurs intervalles dits ordinaires peuvent aller de 22 à respectivement 37 et 41 jours. Le cas des intervalles dits longs, qui surviennent souvent en été, n'a pas été traité. Les protocoles inter4 et inter5 sont donc une simplification de la réalité.

1.3.2. Paramètres du jour de contrôle

Le point a été considéré P₄-positif ou non selon la valeur observée pour le profil. Les stades de lactation et le nombre de points connus sont présentés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Stades de lactation pour les protocoles inter4 et inter5 (moyenne, minimum-maximum) et nombre de profils sans donnée manquante le jour du contrôle.

Contrôle	inter4		inter5	
	jours pp	n	jours pp	n
N°1	21 (6-39)	380	24 (6-46)	380
N°2	53 (35-72)	380	61 (41-85)	380
N°3	84 (65-104)	380	99 (78-123)	375

Tableau 2 : Nombre moyen de contrôles et plage après vêlage utilisée pour le calcul des indicateurs de cyclicité PAL et SAL, pour les protocoles inter4 et inter5.

Indicateur	Plage / N°	Nb contrôles		Valeurs / Modalités
		inter4	inter5	
PAL ₆₀	6-60 jpp	1.77	1.51	0/0,5/1 (n=3)
PAL ₈₀	6-80 jpp ¹	2.36	1.95	0/0,3/0,5/0,7/1 (n=5)
PAL ₁₀₀	6-100 jpp ¹	2.84	2.43	0/0,3/0,5/0,7/1 (n=5)
PAL _{40a100}	40-100 jpp ¹	1.77	1.54	0/0,5/1 (n=3)
PAL _{c12}	N°1,2	2	2	0/0,5/1 (n=3)
SAL _{c12}	N°1,2	2	2	--/+/+/-++ (n=4) ²
SAL _{c123}	N°1,2,3	3	3	---/.../++/-+++/-++g (n=12) ²

¹ les points à plus de 18 j de gestation sont omis

² - négatif, + positif, g positif sur gestation au 3^e contrôle (seulement)

La production laitière (PL), le taux butyreux (TB), le taux protéique (TP), la synthèse de matières grasses (MG) et protéiques (MP), et le rapport TP sur TB aux dates de contrôle ont été déduits de moyennes hebdomadaires. La distinction entre des prélèvements effectués le matin ou le soir n'a donc pas été faite, que ce soit pour les taux ou pour la concentration en P₄. La NEC a été estimée par interpolation linéaire entre les points connus.

1.4. VARIABLES ET ANALYSES

1.4.1. Indicateurs de cyclicité

La « proportion d'activité lutéale » (PAL) se définit comme le nombre de contrôles P₄-positifs sur le nombre de contrôles considérés (Petersson *et al.*, 2008). Quatre indicateurs PAL ont été calculés en se limitant aux contrôles réalisés sur une plage post-partum bornée, et un autre sur les contrôles n°1 et 2 indépendamment du stade (**Tableau 2**). Deux indicateurs « séquence d'activité lutéale » (SAL) ont aussi été créés, basés sur l'enchaînement des contrôles 1 à 2 ou 1 à 3, qui peuvent être négatifs, positifs ou positifs sur gestation (n°3).

1.4.2. Variables zootechniques

A partir des données des 3 premiers contrôles, les PL, TB, TP, MG, MP et rapport TP/TB moyens sur les 100 premiers

jours après vêlage ont été estimés (interpolation linéaire entre contrôles et extrapolation constante en-dehors). La PL maximum, les TB, TP et TP/TB minimum ont également été estimés. Les variations relatives de TB, TP et du rapport TP/TB entre le 1^{er} et le 2^e contrôle ont été calculées : (TB₂-TB₁) / TB₁ / (jours pp₂-jours pp₁) x 30. La NEC minimum et la perte maximale d'état depuis le vêlage ont été calculées sur les 100 premiers jours pp. La NEC à 60 jours pp, la variation du vêlage à 60 jours pp et la variation sur 30 jours entre les contrôles n°1 et 2 ont également été calculées.

1.4.3. Analyses statistiques

Le traitement des données et les analyses ont été réalisées sous R (R Development Core Team, 2011). Les effets de la race et de la stratégie alimentaire sur les performances zootechniques ont été évalués par analyse de variance-covariance en incluant l'année, la race, la stratégie alimentaire, la parité (1^{ère}, 2^e, ≥ 3^e lactation), l'âge au 1^{er} vêlage (2 ou 3 ans), les interactions d'ordre 1 entre race, parité et stratégie alimentaire, ainsi que l'index génétique de production laitière pour les variables de production. Les effets de la race et de la stratégie alimentaire sur les paramètres de cyclicité ont été analysés par régression logistique ou analyse de variance en incluant la race, la stratégie alimentaire, la parité et l'interaction race x stratégie alimentaire.

Dans un premier temps, l'effet des indicateurs de cyclicité (PAL, SAL) a été testé par régression logistique, en utilisant tour à tour comme variable à expliquer l'occurrence d'un retard de reprise de cyclicité, d'une interruption de cyclicité, d'une interruption ou d'un retard, ou enfin d'une PLP. L'ajout de la variable intervalle vêlage-premier contrôle a aussi été testé, un premier contrôle précoce réduisant les chances de contrôle positif. Dans un deuxième temps, l'ajout au modèle de variables de production laitière et d'état corporel en vue d'améliorer la prédiction a été testé, avec ou sans présence des variables race, parité et alimentation dans le modèle. La capacité de prédiction des modèles retenus a ensuite été évaluée par analyse discriminante logistique avec validation croisée répétée 10 fois. L'échantillon d'apprentissage représentait deux tiers des données et l'échantillon de validation le tiers restant, dans le respect des proportions de la race, de la parité et de l'année. A l'aide du package pROC (Robin *et al.*, 2011), les courbes ROC (Receiver Operating Characteristics) ont été analysées, la sensibilité (% de diagnostics positifs lorsque l'anomalie est présente), la spécificité (% de diagnostics négatifs lorsque l'anomalie est absente) et le taux d'erreur (% de mauvaises affectations) moyens ont été calculés pour la probabilité seuil maximisant la somme de la sensibilité et la spécificité.

Tableau 3 : Effets de la race (R) et de la stratégie d'alimentation (S) sur les performances zootechniques et la cyclicité (valeurs ajustées de l'effet parité).

	Holstein		Normande		R	S	RxS
	Haut	Bas	Haut	Bas			
Nb lactations	87	87	104	102	-	-	-
PL totale 44s (kg)	8425 ^d	5994 ^b	6300 ^c	4778 ^a	***	***	***
PL au pic (kg/j)	41,5 ^d	29,6 ^b	31,2 ^c	23,7 ^a	***	***	***
Etat au vêlage	3,10 ^a	3,10 ^a	3,59 ^b	3,51 ^b	***	0,40	0,25
Perte d'état max	-1,12 ^b	-1,41 ^a	-0,72 ^d	-0,96 ^c	***	***	0,65
Reprise cycl. (j) ¹	34,5 ^b	34,0 ^b	28,3 ^a	27,8 ^a	***	0,91	0,09
% profil Normal	56 ^{αβ}	48 ^α	65 ^β	73 ^γ	***	0,91	0,09
% PLP ²	19 ^{αβ}	28 ^β	16 ^{αβ}	8 ^α	**	0,58	*
% Retard ²	22	16	10	11	*	0,66	0,41
% Interruption ²	3	10	5	9	0,79	*	0,63
% Irrégulier ²	1	1	3	1	0,73	0,51	0,59

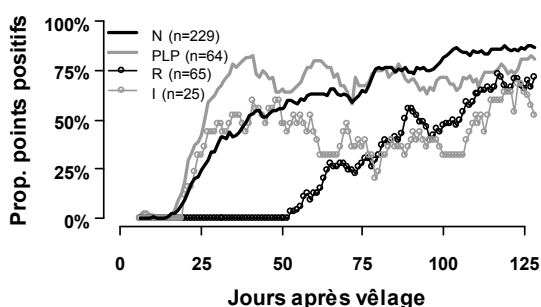
*** / ** / * $P < 0,001 / 0,01 / 0,05$

a, b, c, d / α, β, γ les valeurs sans lettre commune différent à $P < 0,05 / 0,10$

¹ variable log_e-transformée avant analyse

² un profil peut présenter deux anomalies

Figure 1 : Proportions des profils présentant un point positif à un stade post-partum donné, par catégorie de profil (normal N, phase lutéale prolongée PLP, retard R ou interruption I).



2.2. LA PROPORTION DE POINTS POSITIFS APRES VELAGE VARIE SELON LE PROFIL DE CYCLICITE

Comme attendu, la proportion de points positifs à un instant t diffère entre types de profils (Figure 1). Elle s'accroît du fait des reprises de cyclicité puis de l'établissement de gestations, particulièrement pour les profils normaux. Par définition, cette proportion est nulle avant 50 jours pp pour les profils avec retard. La proportion augmente rapidement dans le cas des PLP, qui surviennent fréquemment dans le cas de reprises de cyclicité précoces (Opsomer *et al.*, 2000). Pour les profils avec interruption de cyclicité, la proportion se comporte comme pour les profils de cyclicité normaux sur

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. LA RACE ET LA PARITE SONT LES PREMIERS FACTEURS DE VARIATION DE LA CYCLICITE

Sur 380 profils, 17 % ont présenté une PLP, 17 % un retard de reprise de cyclicité, 7 % une interruption de cyclicité et 2 % un profil irrégulier. Les anomalies multiples sont possibles mais restent peu fréquentes (3 % des profils) : 7 profils ont présenté PLP et interruption, 2 profils retard et interruption, 1 profil PLP et retard. Les PLP ont été observées aux ovulations 1 (81 %), 2 (8 %), 1 et 2 (6 %), 3 (3 %) ou 4 (2 %). Conformément aux résultats antérieurs (Cutullic *et al.*, 2011), la stratégie alimentaire a fortement influencé la production laitière et la dynamique d'état corporel, mais seules la race et la parité ont eu une influence majeure sur la cyclicité (Tableau 3 ; Balberini et Delaby, 2012). Conformément à la littérature (Disenhaus *et al.*, 2008), les primipares présentent une reprise de cyclicité plus tardive que les multipares (34,7 vs 29,3 jours pp ; $P = 0,002$) et les Holstein présentent plus d'anomalies de cyclicité que les Normandes, notamment plus de PLP (23 vs 12 %, $P = 0,004$). Ce résultat, combiné avec l'absence d'effet majeur de l'alimentation sur la cyclicité va dans le sens d'un effet génétique, effet suggéré par des analyses de pédigrée (Royal *et al.*, 2002 ; Petersson *et al.*, 2007) et des comparaisons entre races (Piccand *et al.*, 2011).

les 50 premiers jours après vêlage, puis cette proportion régresse entre 60 et 110 jours pp. De ce fait, sur les 40 premiers jours, la proportion moyenne observée pour les profils anormaux tous confondus diffère peu de celle observée pour les profils normaux. Le profil cyclique observé entre 25 et 75 jours pp pour les PLP est principalement le fait de lutéolyses spontanées autour de 45-50 jours après vêlage pour des vaches ayant eu une première ovulation précoce. En effet, pour 57 % des PLP qui font suite à une ovulation avant 25 jours pp ($n=47$), une lutéolyse spontanée a été observée entre 42 et 60 jours pp. En termes de délais de mise à la reproduction, ces profils sont *a priori* peu pénalisants. En effet, 56 % des vaches qui ont présenté ce profil (PLP précoce avec régression spontanée) ont établi une gestation, contre 30 % seulement pour les autres types de PLP ($P = 0,038$). La différence avec le taux de gestation observé pour les profils normaux est non-significative (56 vs 67 % ; $P = 0,22$). Sur ce point, l'acquisition croissante de références sur les profils de cyclicité par mesure automatique de la concentration en P_4 lors de la traite (Friggens *et al.*, 2008) devra aider à distinguer les anomalies graves des anomalies sans conséquences.

2.3. LES RETARDS DE CYCLICITE SONT BIEN DETECTABLES PAR LA CONCENTRATION EN PROGESTERONE

Tous les indicateurs de cyclicité testés ont eu un effet hautement significatif dans les modèles univariés pour la prédiction des retards, et ce pour les deux types de protocole ($P < 10^{-8}$). L'indicateur SAL_{c123} combiné à l'intervalle vêlage premier contrôle fournit la meilleure prédiction (19 % de mauvais classements pour un protocole inter4). Bien que plus exact, il a

l'inconvénient de n'être disponible que tardivement puisqu'il nécessite trois contrôles, contrairement à l'indicateur SAL_{c12} combiné à l'intervalle vêlage - premier contrôle (25 % de mauvais classements) ou à PAL₆₀ (30 %) qui est l'indicateur suggéré par Petersson *et al.* (2008). Pour un protocole inter5, les taux d'erreur passent à 24 %, 29 % et 37 % respectivement.

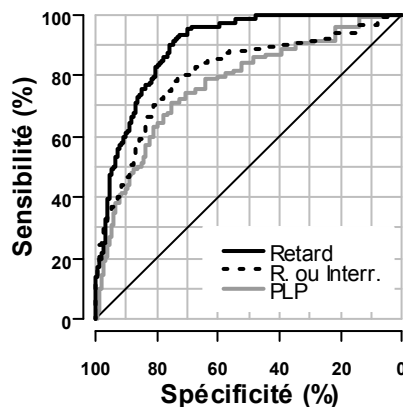
Conformément aux relations établies entre la dynamique d'état corporel et la cyclicité après vêlage (Ponsart *et al.*, 2005 ; Cutullic *et al.*, 2012), l'ajout dans les modèles de la NEC au vêlage ou post-partum et de la parité améliore la prédiction : le risque de retard augmente pour les animaux maigres et les primipares. Aucune variable de production n'a eu d'effet significatif. Les écarts entre indicateurs SAL_{c123}, SAL_{c12} et PAL₆₀ sont modérés (17, 21 et 23% de mauvais classements respectivement), ce qui plaide en faveur du choix d'un indicateur précoce (Tableau 4). Ces modèles ont

Tableau 4 : Aire sous la courbe ROC et sensibilité, spécificité et taux d'erreur (en %) au seuil maximisant sensibilité plus spécificité, pour les modèles de prédiction (protocole inter4).

V.prédite	Variables explicatives	Aire	Se	Sp	Er
Retard	SAL _{c12} + iVC ₁	0,87	97	71	25
	SAL _{c12} + iVC ₁ + NEC _{vel} + parité	0,89	92	76	21
Retard ou Interrupt.	PAL ₆₀ + PAL _{40a100}	0,79	82	71	27
PLP	PAL ₆₀ + PAL _{40a100} + NEC _{vel} + parité	0,81	79	77	23
PLP	PAL ₁₀₀ + iVC ₁	0,73	80	63	34
	PAL ₁₀₀ + iVC ₁ + TP/TB _{min} + race	0,76	73	75	25

iVC₁ : intervalle vêlage – contrôle n°1 ; NEC_{vel} : note d'état corporel au vêlage ; PAL₆₀, PAL₁₀₀, PAL_{40a100} : proportion d'activité lutéale du vêlage à 60, du vêlage à 100, de 40 à 100 jours pp (corrégée de la gestation) ; parité : primipare ou multipare ; race : Holstein ou Normande ; SAL_{c12} : séquence d'activité lutéale aux contrôles n°1 et n°2 ; TP/TB_{min} : rapport de TP sur TB minimum sur 100 jours pp

Figure 2 Courbes ROC des modèles complets retenus pour la prédiction des retards, des retards ou interruptions et des phases lutéales prolongées (cf Tableau 4).



2.4. LA PREDICTION DES PLP PEUT S'AFFINER PAR L'AJOUT DE VARIABLES ZOOTECHNIQUES

Les indicateurs testés ont tous présenté un effet significatif dans les modèles univariés pour la prédiction des PLP, et ce pour les protocoles inter4 comme inter5 ($P < 0.001$). Les indicateurs SAL_{c123} et PAL₁₀₀ se sont avérés les plus pertinents, *a fortiori* lorsque corrigés de l'intervalle vêlage-premier contrôle. Une PAL élevée risque d'autant plus d'être associée à une PLP que l'intervalle vêlage - premier contrôle était court. Toutefois la capacité de discrimination de ce modèle de base reste très faible avec un taux d'erreur global de 34 % (Tableau 4). Le modèle est amélioré par l'ajout du rapport TP sur TB minimum ($P = 0.002$) et de la race ($P = 0.020$; Tableau 4). Le risque d'anomalie augmente en effet en race Holstein (Tableau 2) et pour un ratio TP/TB faible, suggérant un déficit énergétique plus prononcé chez ces animaux. Les variations de ce ratio ou du TB entre les deux premiers contrôles, tout comme l'état au vêlage ont aussi présenté des effets significatifs ($P < 0,05$). Plus le ratio ou le TB chutent, ou plus l'état au vêlage est élevé, plus le risque augmente. Une estimation fine du déficit énergétique via l'analyse des taux permettrait peut-être d'améliorer la prédiction. Le taux d'erreur reste en revanche à 35 % en inter5. Ceci souligne l'importance de la fréquence de prélèvement

tendance à être sensibles, les anomalies sont donc bien détectées, mais moyennement spécifiques, des anomalies peuvent donc être prédites à tort. L'amélioration de la spécificité se fait rapidement au détriment de la sensibilité (Figure 2). Pour un protocole inter5 les taux d'erreur restent plus élevés (23, 24 et 28% respectivement). Les interruptions de cyclicité, peu fréquentes, ne sont pas prévisibles seules. La prédiction conjointe des retards ou interruptions nécessite un indicateur couvrant une longue plage après-vêlage comme SAL_{c123} combiné à l'intervalle vêlage-premier contrôle ou encore la combinaison PAL₆₀ + PAL_{40a100}. Ceci est cohérent avec l'évolution de la proportion de points positifs observée pour ces deux types de profils (Figure 1). Les variables explicatives auxiliaires restent les mêmes que pour la prédiction des retards (Tableau 4). A même spécificité, la sensibilité est cependant réduite par rapport à la prédiction des seuls retards (Figure 2).

pour la détection des PLP, qui surviennent majoritairement dans les 50 premiers jours de lactation. Comme discuté au point 2.2, il serait aussi pertinent d'analyser, sur plus de données, si les profils non repérés sont des PLP précoces et courtes avec peu d'incidence sur les performances finales de reproduction.

CONCLUSION

Ce travail doit être étendu à d'autres jeux de données pour tester la validité des prédictions dans d'autres contextes (génotypes, saisons). Si la prédiction des retards de reprise de cyclicité est satisfaisante, la prédiction des PLP à l'échelle de l'individu reste difficile à la fréquence de prélèvement des contrôles laitiers. L'ajout de variables zootechniques aux indicateurs basés sur la progestérone améliore toutefois la prédiction. Une meilleure compréhension des mécanismes physiologiques sous-jacents reste requise pour affiner la sélection de ces variables auxiliaires et ainsi améliorer la détection des animaux à risque.

Les auteurs remercient toute l'équipe du Pin-au-Haras et particulièrement Yves Carbonnier, Loïc Leloup, René Dernaucourt, Guillaume Michel, Ségolène Leurent, Marion Pavec, Adèle Lemercier et Laura Balberini pour le temps passé à prélever, à observer les animaux et à enregistrer les données. Jacques Portanguen, Clara Lambard et Charlène Keohavong sont aussi remerciés pour leur large implication dans les dosages de progestérone. Enfin, Nicolas Gaudillère (OCEL25-90) est remercié pour les informations fournies sur la répartition réelle des intervalles entre contrôles.

- Balberini, L., Delaby, L., 2012. Rapport de Master-Ingénieur, ISARA Lyon.
 Cutullic, E., Delaby, L., Gallard, Y., Disenhaus, C., 2011. *Animal*, 5, 731-740.
 Cutullic, E., Delaby, L., Gallard, Y., Disenhaus, C., 2012. *Animal*, 6, 476-487.
 Disenhaus, C., *et al.*, 2008. *Renc. Rech. Rum.*, 15, 383-386.
 Friggens, N., Bjerring, M., Ridder, C., Højsgaard, S., Larsen, T., 2008. *Reprod. Dom. Anim.*, 43, 113-121.
 Institut de l'Elevage, 2012. Résultats de contrôle laitier France 2011, 107 pages.
 Opsomer, G., Gröhn, Y.T., Hertl, J., Coryn, M., Deluyker, H., de Kruif, A., 2000. *Theriogenology*, 53, 841-857.
 Petersson, K.-J., Berglund, B., Strandberg, E., Gustafsson, H., Flint, A.P.F., Woolliams, J.A., Royal, M.D., 2007. *J. Dairy Sci.*, 90, 427-434.
 Petersson, K.-J., Strandberg, E., Gustafsson, H., Royal, M.D., Berglund, B., 2008. *Prev. Vet. Med.*, 86, 153-163.
 Piccand, V., *et al.*, 2011. *J. Dairy Res.*, 78, 464-470.
 Ponsart, C., Dubois, P., Levert, J., Freret, S., Jeanguyot, N., Charbonnier, G., Congnard, V., Humblot, P., 2005. *Journée Bovine Nantaise*, pp.98-101.
 Royal, M.D., Flint, A.P.F., Woolliams, J.A., 2002. *J. Dairy Sci.*, 85, 958-967.
 Robin, X., *et al.*, 2011. *BMC Bioinformatics*, 12, 77.
 R Development Core Team, 2011. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
 Van der Lende, T., Kaal, L.M.T.E., Roelofs, R.M.G., Veerkamp, R.F., Schrooten, C., Bovenhuis, H., 2004. *J. Dairy Sci.*, 87, 3953-3957