

Evaluation de la détection automatisée des chaleurs par différents appareils chez la vache laitière.

CHANVALLON A. (1), GATIEN J. (2), LAMY J.M. (3), PHILIPOT J.M. (4), GIRARDOT J., DAVIERE J.B. (5), RIBAUD D. (6), SALVETTI P. (2)

(1) Institut de l'Élevage, Oniris, BP40706, 44307 Nantes, France

(2) UNCEIA R&D, 13 rue Jouët, 94704 Maisons-Alfort cedex, France

(3) Chambre d'Agriculture du Maine-et-Loire, 14 avenue Jean Boxé, 49006 Angers cedex 01, France

(4) CREAVIA, 69 rue de la Motte Brûlon, 35702 Rennes cedex 7, France

(5) CLASEL, 141 Boulevard des Loges, 53942 Saint Berthevin cedex, France

(6) Institut de l'Élevage, 149 rue de Bercy, 75595, Paris cedex 12, France

RESUME

La détection automatisée des chaleurs en élevage bovin laitier a fait l'objet d'avancées technologiques importantes mais peu d'études ont porté sur l'évaluation simultanée des performances de différents outils. Notre étude porte sur (1) l'évaluation de la qualité de détection des chaleurs par un podomètre (P) Afitag® et de deux détecteurs d'activité : Heatime-Ruminact® (HT) et HeatPhone® (HP) et (2) l'analyse des facteurs pouvant influencer la qualité de détection de ces 3 appareils. L'essai a été mené sur 63 vaches Prim'Holstein équipées simultanément des 3 appareils depuis leurs vêlages. Un suivi de la cyclicité a été effectué de J7 à J90 post-partum grâce à des dosages bi-hebdomadaires de progestérone du lait. La reprise de cyclicité a eu lieu, en moyenne, $27,7 \pm 9,8$ jours après le vêlage ; 3 vaches (4,8 %) n'ont jamais été cycliques. Au total, 214 périodes potentielles d'œstrus ont été identifiées permettant de caractériser 153 cycles ovariens, 60,3% des profils de cyclicités ont été qualifiés de normaux. En supprimant les périodes de dysfonctionnement des appareils, les sensibilités (SE) et valeurs prédictives positives (VPP) ont été respectivement de 71 % et 71 % pour P, de 62 % et 84 % pour HT et de 61 % et 67 % pour HP. Des simulations réalisées a posteriori sur les données collectées, avec un nouvel algorithme HP, ont permis d'atteindre une SE de 62 % et une VPP de 87 %. Les deux outils HT et HP présentent avec ces derniers résultats des performances équivalentes. Pour tous les appareils, les performances ont été médiocres pour la première ovulation post-partum ($p < 0,05$). Pour P et HT, la SE a été faible pour les vaches de rang de lactation 3 ou plus ($p = 0,03$ et $p = 0,02$). Ces outils automatisés sont donc assez efficaces à partir de 50 jours post-partum, ils peuvent être complétés par des observations directes de l'éleveur sur des animaux ciblés pour une utilisation optimale.

Automated estrous monitoring in dairy cattle: detection efficiency and risk factors

CHANVALLON A. (1), GATIEN J. (2), LAMY J.M. (3), PHILIPOT J.M. (4), GIRARDOT J., DAVIERE J.B. (5), SALVETTI P. (2)

(1) Institut de l'Élevage, Oniris, BP40706, 44307 Nantes, France

SUMMARY

Considerable technological advances have been made in automated estrous detection in dairy cattle but few studies have focused on the performance of these tools. The objectives of this study were the following: (1) to assess the quality of heat detection by a Afitag® pedometer (P) and two activity detectors: Heatime-Ruminact® (HT) and HeatPhone® (HP), (2) to analyze the factors influencing the quality of detection of these three tools. The trial was conducted on 63 Holstein cows at the experimental farm of Trinottières (49), fitted simultaneously with the 3 tools from calving. Cyclicity was monitored from 7 to 90 days postpartum with bi-weekly assays of progesterone in milk. The resumption of cyclicity occurred, on average, 27.7 ± 9.8 days after calving, and 3 cows (4.8%) did not resume cyclicity. A total of 214 estrous periods were identified to characterize 153 estrous cycles with 75.8% classified as normal. After removing periods of dysfunction for each tool, the sensitivities (SE) and positive predictive values (PPV) were respectively 71% and 71% for P, 62% and 84% for HT, 61% and 67% for HP. Simulations made a posteriori on collected data with a new HP algorithm (not tested in experimental conditions) gave an SE of 62% and a PPV of 87%. With this last result, the performances of HT and HP were equivalent. For all tools, performance was severely degraded for the first postpartum estrus ($p < 0.05$). For P and HT, SE has been reduced for the ranks of lactation 3 or higher ($p = 0.033$ and $p = 0.0161$). These tools can be a good assistance for heat detection made by the breeder but must be used with caution especially in the early period of insemination or in cows without reference heat.

INTRODUCTION

La gestion de la reproduction en troupeaux bovins laitiers pratiquant l'insémination animale (IA) passe par une étape déterminante : la détection des ovulations. Elle se fait traditionnellement par la détection des chaleurs grâce à l'observation des signes comportementaux exprimés par les vaches. Cette activité est particulièrement chronophage et parfois délicate chez les vaches laitières hautes productrices (Disenhaus et al, 2010). L'observation des chaleurs est donc de plus en plus délaissée par les éleveurs (Ponsart et al, 2010) malgré les pertes économiques significatives

engendrées par un défaut de détection (Inchaisri et al, 2010 ; Seegers et al, 2010). La détection automatisée des chaleurs a fait l'objet d'avancées technologiques notables, avec une variété d'outils à disposition des éleveurs de plus en plus large : détecteurs de chevauchement ou d'activité, podomètres, dosage de la progestérone (Peralta et al, 2005 ; Paccard et al, 2009 ; Philipot et al, 2010 ; Holman et al, 2011). Les objectifs de cette étude sont : (1) d'évaluer la qualité de la détection des chaleurs de 3 dispositifs (sensibilité et valeur prédictive positive) ; (2) d'analyser les facteurs pouvant influencer leurs performances.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON

L'essai a été mené à la ferme expérimentale des Trinottières (Chambre d'Agriculture du Maine-et-Loire) d'août 2011 à février 2012. Il a concerné 63 vaches Prim'Holstein ayant vêlé du 28 août 2011 au 8 novembre 2011.

L'ensemble des vaches ont été équipées simultanément au vêlage de 3 détecteurs de chaleurs : un podomètre (P) AFITAG® (AFIMILK) fixé à une patte arrière et deux détecteurs d'activité placés sur un même collier : Heatime-Ruminact® (HT) (MILKLINE) et HeatPhone® (HP) (MEDRIA). L'algorithme de calcul inclus dans le HeatPhone® est évolutif. A la fin de l'essai, un nouvel algorithme a été proposé par le constructeur et a simulé a posteriori les alertes qu'il y aurait eu avec ce nouvel algorithme (HP2).

1.2. MESURES ET ENREGISTREMENTS

Pour chaque vache, les données collectées ont été : la production laitière au pic (en moyenne $38,1 \pm 6,2$ kg), le TP minimum sur les 3 premiers mois (en moyenne $28,6 \pm 1,8$ g/kg), le rang de lactation (40% de rang 1 ; 29% de rang 2 ; 32% de rang 3 et plus), la date et le moment des alertes pour P (alertes relevées le matin et le soir), la date et l'heure des alertes HT et HP, la date d'IA et le résultat du constat de gestation (échographie). Des prélèvements bihebdomadaires de lait pour le dosage de la progestérone (kit Ovucheck® de Biovet) ont été effectués de J7 à J90 post-partum pour établir la cyclicité des animaux. Les taux de progestérone (P4) sont élevés ($\geq 3,5$ ng/ml), faibles ($< 2,5$ ng/ml) ou intermédiaires (entre 2,5 et 3,5 ng/ml). Dans ce dernier cas, la P4 a été considérée comme haute si le prélèvement précédant ou suivant était élevé (Thimonier, 2000).

1.3. ANALYSE DE LA CYCLICITE

Le délai de reprise de cyclicité et la cyclicité établie de chaque vache ont été décrits à l'aide des résultats de P4, comme proposé par Disenhaus et al (2008). Le délai de reprise de cyclicité a été estimé par l'intervalle entre le vêlage et la date du premier dosage où la P4 était élevée. La durée de vie du corps jaune a été estimée par l'intervalle entre une P4 élevée suivant une P4 faible, et une P4 élevée précédant une P4 faible. La durée d'un cycle est alors l'intervalle entre la P4 faible précédant le corps jaune étudié et la P4 faible précédant le corps jaune suivant. Un profil de cyclicité a ensuite pu être défini pour chaque vache (Tableau 1).

Tableau 1 : Description et fréquence des profils de cyclicité (n=63). * un 1^{er} cycle court est considéré comme physiologique donc normal.

Profil	Description	%
Normal	Succession de cycles de durée normale (17-26j)* Reprise de cyclicité <50j	60,3
Phase lutéale prolongée	1 ou plusieurs cycles de durée prolongée (>26j)	17,5
Court	1 ou plusieurs cycles court (<17j)	1,6
Interruption de cycle	1 ou plusieurs interruptions de cyclicité (période ≥ 12 j de P4 faible encadrée par 2 P4 élevées)	3,2
Retardé	Reprise de cyclicité ≥ 50 j	1,6
Inactivité	Pas de reprise de cyclicité au cours de l'essai (90j)	4,8
Indéterminé	Activité lutéale désordonnée ou plusieurs types d'anomalies	11,1

1.4. ANALYSE DES ALERTES

1.4.1. Validation des alertes

L'analyse des cycles ovariens a permis, en premier lieu, de valider les périodes potentielles d'œstrus et leur rang. La

seconde étape a été de qualifier les alertes fournies par les 3 dispositifs à raison (vraies positives, VP), à tort (fausses positives, FP) et les chaleurs non détectées (fausses négatives, FN). VP correspond à une alerte un jour où la P4 est faible (phase folliculaire) et/ou suivie de moins de 3 prélèvements faibles avant un dosage élevé. FP correspond à une alerte soit un jour où la P4 est élevée (phase lutéale), soit un jour où la P4 est faible et/ou suivie d'au moins 3 prélèvements négatifs (anœstrus). FN correspond à un jour où la P4 est faible et/ou suivie de moins de 3 prélèvements faibles avant un prélèvement élevé mais sans alerte.

Si deux alertes d'un même appareil sont émises en 48h, seule la première alerte a été conservée. Si ces alertes sont espacées de plus de 48h, l'une a été considérée comme VP (dans les conditions décrites précédemment) et l'autre comme FP. Cinq alertes ont été exclues car il était impossible de conclure.

1.4.2. Définition de la qualité de détection des appareils

La qualité de détection de chaque appareil a été définie par la sensibilité (SE ; % de VP parmi l'ensemble des œstrus potentiels : $SE = VP/(VP+FN)$) et la valeur prédictive positive (VPP ; % de VP parmi l'ensemble des alertes émises par l'appareil : $VPP = VP/(VP+FP)$). Trois niveaux d'analyse de ces deux critères ont été réalisés :

- sur l'ensemble de la période d'essai (SE_{BRUT} et VPP_{BRUT}),
- après suppression des périodes de dysfonctionnement propre à chaque appareil (SE_{PANNE}),
- après suppression des périodes de dysfonctionnement d'au moins un des appareils ($SE_{PANNE\ TOT}$ et $VPP_{PANNE\ TOT}$). Dans ce dernier cas, une comparaison de la SE et de la VPP des appareils a été réalisée à l'aide d'un modèle de régression logistique (procédure GLIMMIX, SAS). Une vache n'a pas été équipée du dispositif HeatPhone®, elle a donc été supprimée de l'ensemble des calculs de qualité de détection (n=62).

1.4.3. Analyse des facteurs de variation de la qualité de détection des appareils

Pour chaque appareil, les variables étudiées ont été :

- l'état physiologique des vaches lors de l'alerte : rang d'ovulation 1 suivant une période anovulatoire (R1) ; rang d'ovulation ≥ 2 suivant un cycle normal (R2_NOR) ; rang d'ovulation ≥ 2 suivant un cycle anormal ou une interruption de cycle (R2_ANOR),
- le délai de reprise de cyclicité : < 20 ; entre 20 et 30 et > 30 j,
- le délai entre le vêlage et l'alerte : avant et après 50j (recommandation de début de mise à la reproduction),
- le rang de lactation : 1, 2 ou ≥ 3 ,
- la production laitière au pic : ≤ 35 ; entre 35 et 40 et ≥ 40 kg,
- le TP minimum (indicateur du déficit énergétique) : $<$ ou ≥ 28 g/kg.

Une analyse unifactorielle des facteurs de variation sur la qualité de détection des chaleurs a été réalisée, les facteurs avec un effet $p < 0,15$ ont été introduits dans les modèles puis retirés pas à pas, en commençant par les moins significatifs, afin de ne conserver que des effets avec $p \leq 0,05$. Les interactions d'ordre 1 ont été testées, et celles qui étaient significatives ont été conservées dans les modèles. Pour chaque appareil, un modèle SE et un modèle VPP ont été testés sur les périodes sans dysfonctionnement propre à chaque appareil (procédure GLIMMIX, SAS).

2. RESULTATS

2.1. DESCRIPTION DE LA CYCLICITE

Trois vaches ne sont pas devenues cycliques sur la période étudiée. Pour les autres (n=60), la reprise de cyclicité a eu lieu en moyenne $27,7 \pm 9,8$ jours après le vêlage. A 30 et 50 jours post-partum, respectivement 62% et 94% des vaches étaient cycliques.

Au total, 214 périodes potentielles d'œstrus ont été identifiées permettant de caractériser 153 types de cycle ou interruption

de cycle. Les cycles normaux ont duré en moyenne 21,1 ± 2,2 jours. Les fréquences des profils de cyclicité sont présentées dans le Tableau 1.

2.2. DESCRIPTION DES ALERTES

2.2.1. Dysfonctionnement des appareils

Pour P, deux pannes ont eu lieu au cours de l'essai, sans affecter les résultats (hors zone d'œstrus potentiels). HT a été inutilisable suite à une panne de l'antenne pendant 13 jours. De plus, 5 boîtiers ont été remplacés suite à une panne. Pour HP, 2 boîtiers ont dû être remplacés suite à une panne et 3 ont été remplacés suite à une chute du collier.

2.2.2. Qualité de détection des chaleurs par les appareils

Après suppression des données de la vache n'ayant pas eu de collier HP, 211 périodes potentielles d'œstrus ont été analysées. Les résultats des trois niveaux d'analyse (BRUT, -PANNE, -PANNE TOT) sont présentés dans le Tableau 2.

La comparaison des SE et VPP des appareils n'a été faite que sur une période comparable (-PANNE TOT). Dans ce cas, la SE du P est significativement supérieure à la SE du HT ($p=0,02$), du HP ($p=0,005$) et du HP2 ($p=0,02$). La VPP du HT et du HP2 sont significativement supérieures à la VPP du P ($p=0,05$ et $p=0,007$) et du HP ($p=0,006$ et $p=0,0007$).

2.3. FACTEURS DE VARIATION DE LA QUALITE DE DETECTION

2.3.1. Analyses unifactorielles

Les résultats de l'analyse unifactorielle sont présentés dans le Tableau 3. La SE a été faible sur les ovulations de rang 1 pour tous les appareils ($p<0,0001$). La SE n'a pas été affectée pour les rangs d'ovulation 2 et plus quelle que soit la cyclicité précédant l'alerte ($p>0,05$). Des résultats similaires ont été obtenus pour la VPP. La SE pour tous les appareils ($p<0,001$) et la VPP pour P ($p=0,01$) et HP2 ($p=0,01$) ont été faibles pour des alertes intervenues avant 50 jours post-partum. L'impact de la production laitière a été variable d'un dispositif à l'autre. La SE et la VPP ont été diminuées chez les vaches les plus productrices pour le HT ($p=0,01$ et $p=0,03$), une tendance dans ce sens est apparue pour la SE du P ($p=0,07$). Les productions intermédiaires ont été pénalisées de façon significatives uniquement pour la VPP du HP2 ($p=0,03$). La SE a été diminuée pour les rangs de lactation 3 ou plus pour P ($p=0,04$) et HT ($p=0,02$), ainsi que la VPP du HT ($p=0,03$). Le délai de reprise de cyclicité et le TP minimum n'ont pas influencé significativement la SE et la VPP des appareils ($p>0,05$).

2.3.2. Analyses multifactorielles

Une interaction a été observée entre l'état physiologique lors de l'alerte et le délai entre le vêlage et l'alerte ($p<0,05$; sauf

pour la VPP du HT). Pour tous les appareils, la SE et la VPP ont été diminuées ($p<0,05$) pour les ovulations de rang 1 (toutes ont eu lieu avant 50 jours post-partum). Pour les ovulations de rang ≥ 2 , la SE et la VPP n'ont pas été affectées par le délai entre le vêlage et l'alerte (46/152 ovulations de rang ≥ 2 ayant eu lieu avant 50 jours post-partum), et la cyclicité avant l'alerte ($p>0,05$). Pour P et HT, la SE a été diminuée pour les rangs de lactation 3 ou plus ($p=0,03$ et $p=0,02$).

3. DISCUSSION

3.1. UNE CYCLICITE CLASSIQUE EN PRIM'HOLSTEIN

Les profils de cyclicité des vaches sont cohérents avec la littérature connue en Prim'Holstein (Disenhaus et al, 2008). La reprise de cyclicité est légèrement meilleure : 94% des vaches ont repris leur cyclicité à 50 jours post-partum contre 79% dans l'étude de Disenhaus et al (2008).

3.2. UNE QUALITE DE DETECTION VARIABLE SELON LES APPAREILS

Le podomètre utilisé dans cet essai a présenté peu de dysfonctionnements et a détecté le plus d'œstrus potentiels (73%). Cependant, il a émis aussi 28,4% d'alertes hors période de chaleurs, pouvant conduire en élevage à des inséminations au mauvais moment. Ce résultat est en accord avec la bibliographie (Holman et al, 2011 ; 26,5%).

Le Heatime-Ruminact® a présenté un nombre non négligeable de dysfonctionnements qui auraient eu des conséquences importantes sur la détection si elle avait été basée uniquement sur cet appareil. Il permet de détecter 55,5% des ovulations dans notre étude, 62,6% en enlevant ses périodes de dysfonctionnement. Ces résultats sont en accord avec la bibliographie (Paccard et al, 2009 ; Holman et al, 2011 ; 65,8% et 58,9% respectivement). Le taux de fausses alertes s'élève à 15,8% ce qui est très supérieur aux résultats obtenus par Philipot et al (2010 ; 7%) et Holman et al (2011 ; 6,5%).

Le HeatPhone® a présenté peu de pannes et a permis de détecter 59,2% des ovulations et 61,9 % sans les périodes de dysfonctionnement de l'appareil. L'application du nouvel algorithme a permis de détecter 60,7 % des ovulations et 63,4% sans les périodes de dysfonctionnement de l'appareil. Le premier algorithme a induit l'émission de 33,5% d'alertes à tort, le second algorithme 11,7%. Ce nouvel algorithme améliore donc la fiabilité de l'outil. Ce résultat, issu de simulations a posteriori, mérite d'être vérifié en conditions d'élevage.

Tableau 2 : Sensibilités (SE) et valeurs prédictives positives (VPP) des 3 appareils. Calculées sur l'ensemble des données (BRUT), après suppression des périodes de dysfonctionnement propre à chaque appareil (-PANNE), après suppression des périodes de dysfonctionnement d'au moins un appareil (-PANNE TOT) ; VP : vrais positifs ; FP : faux positifs ; FN : faux négatifs. * avec le nouvel algorithme de calcul utilisé a posteriori. Sur la même ligne : $a \neq b$ ($p < 0,05$).

Analyse	Indicateurs	Podomètre (P)	Heatime-Ruminact® (HT)	HeatPhone® (HP)	HeatPhone® (HP2)*
BRUT	VP	154	117	125	128
	FP	61	22	63	17
	FN	57	94	86	83
	SE_{BRUT} VPP_{BRUT}	73,0% 71,6%	55,5% 84,2%	59,2% 66,5%	60,7% 88,3%
-PANNE	FN	Pas de panne en période d'œstrus potentiel	70	77	74
	SE_{-PANNE} VPP_{-PANNE}		62,6% 84,2%	61,9% 66,5%	63,4% 88,3%
-PANNE TOT	VP	127	111	109	111
	FP	53	22	55	17
	FN	52	68	70	68
	SE_{-PANNE TOT} VPP_{-PANNE TOT}	70,9%^a 70,6%^a	62,0%^b 83,5%^b	60,9%^b 66,5%^a	62,0%^b 86,7%^b

Ainsi, certains résultats des deux détecteurs d'activité sont inférieurs aux études précédentes. Ces écarts peuvent s'expliquer par les conditions spécifiques liées à la ferme expérimentale des Trinottières (logettes, production laitière élevée, alimentation dans des portillons individuels surélevés). De plus, des conditions d'interprétation des alertes sont préconisées par les constructeurs ou distributeurs du Heatime-Ruminact® (Philipot et al, 2010) et du HeatPhone®, comme la prise en compte de l'historique et du niveau d'activité de la vache pour optimiser la qualité de détection.

Néanmoins, les qualités de détection affichées par ces appareils sont comparables à celles d'un éleveur seul. Bien que très variable, la sensibilité de détection moyenne par l'éleveur se situe autour de 50 à 55% avec une VPP avoisinant les 95% (Disenhaus et al, 2010 ; Holman et al, 2011 ; Roelofs et al, 2010). En général, les appareils sont donc relativement sensibles mais affichent un risque plus important d'inséminer des femelles hors phase ovulatoire. Holman et al (2011) ont mis en évidence que les meilleures performances de détection étaient obtenues en combinant détecteur d'activité et surveillance du troupeau par l'éleveur (SE de 75% et VPP de 92%).

Il est aussi important de souligner que dans notre étude, la validation des alertes a été faite uniquement par rapport aux dosages de progestérone. Or 8 à 15% des animaux présentent des ovulations silencieuses, c'est-à-dire non accompagnées d'un comportement de chaleurs (Disenhaus et al, 2010), l'absence d'alerte n'est donc pas due à un défaut de l'appareil dans ce cas.

3.3. UNE QUALITE DE DETECTION INFLUENCEE PRINCIPALEMENT PAR LE RANG D'OVULATION

Les ovulations de rang 1 sont moins souvent détectées que les suivantes : entre 24% et 41% selon les appareils pour les rangs 1 contre 73% à 87% pour les rangs supérieurs. Notre dispositif expérimental ne permet pas de vérifier si ces premières ovulations étaient réellement accompagnées d'un comportement d'œstrus (absence d'observation systématique ou de vidéosurveillance). Toutefois 51% des œstrus potentiels de rang 1 (30/59) ont été détectés par au moins un des dispositifs, contre 91% (138/152) pour les œstrus suivants. Il est donc probable que la détection médiocre de la première ovulation soit liée à une expression comportementale réduite (Disenhaus et al, 2010). Les meilleurs résultats obtenus pour les alertes émises à plus de 50 jours post-partum sont liés au fait que toutes les premières

ovulations ont eu lieu avant 50 jours dans notre étude. Cependant, ces résultats ne constituent pas un handicap majeur car cela ne correspond pas à la période recommandée pour inséminer. Toutefois, il est conseillé de rester prudent dans l'interprétation des alertes en début de période d'insémination et/ou chez les vaches pour lesquelles l'éleveur n'a pas noté de chaleur de référence.

La sensibilité de détection du podomètre et du Heatime-Ruminact® est plus faible pour des vaches de rang de lactation supérieur ou égal à 3. Ces résultats sont en accord avec López-Gatius et al (2005). Ils pourraient s'expliquer par une expression des chaleurs plus faible chez les multipares par rapport aux primipares (Peralta et al, 2005 ; Roelofs et al, 2005). Mais cet effet reste controversé (Lopez et al, 2004).

CONCLUSION

Ces outils automatisés d'aide à la détection des chaleurs ont l'avantage de mesurer l'activité des vaches en continu avec des bonnes performances. Il n'est cependant pas conseillé d'inséminer uniquement sur ces alertes mais de les confirmer par d'autres sources d'informations. Ces outils permettent de cibler la détection sur certaines vaches et de limiter ainsi l'astreinte de surveillance. Le rapport coût-bénéfice de s'équiper de tels dispositifs reste à évaluer en fonction du système d'élevage (étalement de vêlages, nombre de vaches...) et des objectifs propres de l'éleveur (performances de reproduction, confort de travail...).

Les auteurs remercient le personnel de la ferme des Trinottières et le laboratoire d'hormonologie de l'UNCEIA pour leur contribution à ce travail.

Disenhaus C. et al, 2008. 3R, 15, 383-386
 Disenhaus C. et al, 2010. 3R, 17, 113-120
 Holman A. et al, 2011. Veterinary Record 169: 47
 Inchaisri C. et al, 2010. Theriogenology 74, 835-846
 Lopez H. et al, 2004. Anim Reprod Sci 81, 209-223
 López-Gatius F. et al, 2005. Theriogenology 63, 1419-29.
 Paccard P. et al, 2009. CR Institut de l'Elevage 20931007
 Peralta O.A. et al, 2005. Anim. Reprod. Sci. 87, 59-72
 Philipot J.M. et al, 2010. 3R, 17, 137-140
 Ponsart C. et al, 2010. 3R, 17, 129-132
 Roelofs J.B. et al, 2005. Theriogenology 63, 1366-1377
 Roelofs J.B. et al, 2010. Theriogenology 74, 327-344
 Seegers H. et al, 2010. 3R, 17, 146

Tableau 3 : Sensibilités (SE) et valeurs prédictives positives (VPP) après suppression des périodes de dysfonctionnement propres à chaque appareil (-PANNE) en fonction de différents facteurs de risque. * avec l'algorithme de calcul utilisé a posteriori. Par colonne et facteur : a ≠ b (p < 0,05).

Facteurs	Podomètre (P)		Heatime-Ruminact® (HT)		HeatPhone® (HP)		HeatPhone® (HP2)*	
	SE _{-PANNE}	VPP _{-PANNE}	SE _{-PANNE}	VPP _{-PANNE}	SE _{-PANNE}	VPP _{-PANNE}	SE _{-PANNE}	VPP _{-PANNE}
Etat physiologique lors de l'alerte								
R1	41% ^a	39% ^a	25% ^a	58% ^a	31% ^a	44% ^a	24% ^a	48% ^a
R2_ANOR	80% ^b	71% ^b	79% ^b	91% ^b	75% ^b	66% ^b	79% ^b	96% ^b
R2_NOR	87% ^b	88% ^b	79% ^b	89% ^b	73% ^b	74% ^b	78% ^b	98% ^b
Délai entre le vêlage et l'alerte (j)								
≤50	60% ^a	63% ^a	50% ^a	85%	46% ^a	67%	46% ^a	79% ^a
>50	86% ^b	79% ^b	77% ^b	84%	76% ^b	66%	79% ^b	94% ^b
Production laitière au pic (kg)								
≤35	82%	73%	75% ^a	92% ^a	68%	75%	73%	95% ^a
35 – 40	70%	71%	59%	87%	55%	55%	53%	76% ^b
≥40	65%	70%	50% ^b	71% ^b	62%	69%	62%	91%
Rang de lactation								
1	81% ^a	72%	73% ^a	93% ^a	68%	71%	72%	94%
2	75% ^b	73%	64%	83%	59%	65%	62%	86%
3ou+	62% ^b	70%	48% ^b	72% ^b	58%	62%	55%	86%