HAL open science

# MARIAGE - Monitoring Automatisé de la Reproduction : Innovations et Applications pour l'élevage bovin laitier.

Clément Allain, Fabrice Bidan, Philippe Roussel, Romain Courties, Yoann Quiniou, Catherine Disenhaus, Hélène Croiseau-Leclerc, Pascal Salvetti, Sandrine Freret, Elsa Leyrat-Bousquet, et al.

**To cite this version:**

Clément Allain, Fabrice Bidan, Philippe Roussel, Romain Courties, Yoann Quiniou, et al.. MARIAGE - Monitoring Automatisé de la Reproduction : Innovations et Applications pour l'élevage bovin laitier.. Innovations Agronomiques, 2020, 79, pp.1-18. 10.15454/ftea-3c84 . hal-02945786

**HAL Id: hal-02945786**

**https://hal.inrae.fr/hal-02945786**

Submitted on 22 Sep 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

# MARIAGE : Monitoring Automatisé de la Reproduction : Innovations et Applications pour l'élevaGE bovin laitier

**Allain C.[1], Bidan F.[2], Philippe P.[2], Courties R.[1, 4], Quiniou Y. [5], Disenhaus C.[5], Croiseau-Leclerc H.[3], Salvetti P.[6], Fréret S.[7], Leyrat-Bousquet E.[8], Bekara M. A.[4, 9], Bareille N.[4]**

[1] Institut de l'élevage, Monvoisin, F-35650 le Rheu

[2] Institut de l'élevage, 42 Rue Georges Morel, F-49070 Beaucouzé

[3] Institut de l'élevage, Domaine de Vilvert, F-78352 Jouy en Josas

[4] INRAE, Oniris, BIOEPAR, La chantrerie, F-44307 Nantes

[5] INRAE, Agrocampus Ouest, PEGASE, 65 rue de Saint-Brieuc, F-35042 Rennes

[6] Allice, Le Perrois, F-37380 Nouzilly

[7] INRAE, CNRS, IFCE, PRC Université de Tours, F-37380 Nouzilly

[8] New Medria, P.A. de la Gaultière, F-35220 Châteaubourg

[9] Laboratoire de biologie moléculaire, génomique et bioinformatique, département de biologie, faculté de la nature et des sciences de la vie, université Hassiba Benbouali de Chlef, F-02000, Chlef, Algérie

**Correspondance** : clement.allain@idele.fr

## Résumé

Développer des outils d'aide à la décision pour s'équiper en détecteurs automatisés des chaleurs et tirer le meilleur parti des capteurs déjà installés dans les élevages laitiers, voilà les objets du projet MARIAGE, piloté par l'Institut de l'Elevage. Dans un contexte de développement de l'élevage de précision, il a permis d'élaborer des outils techniques et économiques destinés à aiguiller le choix des éleveurs pour équiper ou non leur troupeau en capteurs de détection des chaleurs. Par ailleurs, les données produites en continu par les capteurs HeatLive ® de Medria, installés dans plus de 1043 élevages, ont été combinées aux données du Système National d'Information Génétique bovin. Le traitement de cette base de données a permis de caractériser de nouveaux indicateurs d'expression des chaleurs (amplitude de la suractivité associée aux chaleurs, durée de la suractivité, aire sous la courbe de suractivité). Ces indicateurs sont influencés par la race, la parité et le niveau de production des vaches. Il reste à vérifier si ces caractères d'expression des chaleurs pourrait donner lieu à sélection génétique.

**Mots-clés** : Capteur, chaleurs, analyse technico-économique, indicateurs.

## Abstract: Automated Reproduction Monitoring: Innovations and Applications for Dairy Farming

Developing decision support tools to equip with automated heat detection sensors and use the data from the sensors already installed in dairy farms, these were the objectives of this project, managed by the Institut de l'Elevage. In a context of development of precision livestock farming, it has helped to develop technical and economic tools to guide the choice of the farmers to invest in heat detection sensors or not for their herd. In addition, data continuously produced by Medria HeatLive ® sensors, installed in more than 1043 farms, were combined with data from the National Bovine Genetic

Information System. The treatment of this database made it possible to access new indicators of heat expression (amplitude of high activity associated with heat, duration of high activity, area under the curve of high activity). These indicators are influenced by the breed, parity and production level of cows. They could eventually be used for genetic selection on heat expression.

**Keywords:** Sensor, heat, economic analysis, indicators.

## Introduction

### Contexte

L'élevage de précision se développe rapidement dans le monde depuis le début des années 2000, pour optimiser la gestion d'élevages en mutation (Allain et al., 2014). Une des cibles les plus visées par ces outils concerne la détection automatisée des chaleurs, en réponse à l'augmentation de la taille des troupeaux et des défauts d'expression des chaleurs (Saint-Dizier et Chastant-Maillard, 2018). Une variété d'outils de plus en plus large est ainsi proposée par les constructeurs et avec un taux de pénétration croissant dans les exploitations laitières (Allain et al., 2015). Les principaux systèmes déployés en France sont basés sur la détection d'une augmentation de l'activité physique des vaches concomitante aux chaleurs (Chanvallon et al., 2014). Même si l'intérêt technique des capteurs a en général fait l'objet de tests en ferme, le rapport coûts/bénéfices de s'équiper en fonction de son système d'élevage reste difficile à évaluer (quel impact technico-économique ? quel impact sur le confort de travail ?). Parallèlement, le développement des capteurs dans les élevages génère d'importantes quantités de données qui sont pour l'instant peu valorisées. Dans le domaine de la reproduction, les perspectives de valorisation pour le phénotyage et la sélection de caractères, comme l'expression des chaleurs ou la cyclicité, semblent à portée de main.

### Objectifs du projet

L'objectif du projet MARIAGE était d'élaborer des applications et des stratégies innovantes permettant de tirer au mieux parti des capteurs déjà déployés en élevage, à partir de l'exemple de la détection des chaleurs.

Concrètement, les objectifs opérationnels étaient de :

- **Analyser les motivations des éleveurs à s'équiper** et estimer leurs gains en confort de travail.
- **Produire une méthode d'analyse du rapport coûts/bénéfices** d'un équipement en capteurs pour la détection automatisée des chaleurs.
- **Caractériser de nouveaux phénotypes** et de nouveaux indicateurs de suivi de la reproduction, à partir des enregistrements automatisés des capteurs de reproduction.

### Partenaires du projet

Les partenaires du projet étaient les suivants :

- Institut de l'élevage, Monvoisin, 35650 le Rheu
- Institut de l'élevage, 42 Rue Georges Morel, 49070 Beaucouzé
- Institut de l'élevage, Domaine de Vilvert, 78352 Jouy en Josas
- UMR BIOEPAR, INRAE, Oniris, La chantrerie, 44307 Nantes
- UMR PEGASE, INRAE, Agrocampus Ouest, 65 rue de Saint-Brieuc, 35042 Rennes
- UMR PRC, centre INRAE Val de Loire, 37380 Nouzilly
- Allice, Le Perrois, 37380 Nouzilly
- New Medria, P.A. de la Gaultière, 35220 Châteaubourg

# 1. S'équiper d'un capteur de détection automatisée des chaleurs : évaluation du rapport coûts/bénéfices

## *1.1 Objectifs de l'action*

Les objectifs de cette action étaient :

(1) **D'identifier les motivations des éleveurs à s'équiper** d'un outil de monitoring de la reproduction et **d'évaluer le gain en confort de travail** à l'aide d'enquêtes en élevage.

(2) **D'estimer l'impact technico-économique d'un équipement** par une approche de simulation.

(3) **De formaliser un outil à destination des éleveurs et de leurs techniciens** pour les orienter sur la pertinence de s'équiper et le cas échéant les guider vers un choix d'équipement.

## *1.2 Identification des motivations à s'équiper*

### 1.2.1 Méthodologie

Des enquêtes ont été réalisées chez des éleveurs équipés afin de décrire les motivations des éleveurs à s'équiper en systèmes de détection automatisée des chaleurs et leurs pratiques d'utilisation de ces outils, d'évaluer le confort de travail apporté par ces outils et les attentes éventuelles des éleveurs vis-à-vis de ces technologies. De la même façon, des enquêtes ont été réalisées chez des éleveurs non équipés en détecteurs de chaleurs, afin d'identifier leurs freins à s'équiper. Ces enquêtes ont été menées entre 2014 et 2016 en Bretagne, dans le Doubs et en Ecosse. Le Tableau 1 ci-dessous récapitule le nombre et la localisation des éleveurs enquêtés. Les enquêtes ont ensuite été dépouillées et agrégées.

**Tableau 1 :** Localisation et nombre d'enquêtes réalisées

| | Bretagne | Doubs | Ecosse | **Total** |
|---|---|---|---|---|
| Eleveurs équipés | 20 | 12 | 20 | **52** |
| Eleveurs non équipés | 31 | 20 | 20 | **71** |

### 1.2.2 Résultats des enquêtes

- Les motivations à s'équiper

La Figure 1 présente les principales motivations à s'équiper de détecteurs automatisés des chaleurs. Dans la grande majorité des cas (41/52), c'est la volonté d'avoir une meilleure gestion technique de la reproduction qui est citée en premier lieu. Ensuite, ce sont les perspectives de gain de temps qui sont évoquées (6/52) ou l'amélioration du confort de travail (3/52). Certains se sont simplement équipés car les dispositifs étaient fournis avec les robots de traite (2/52).

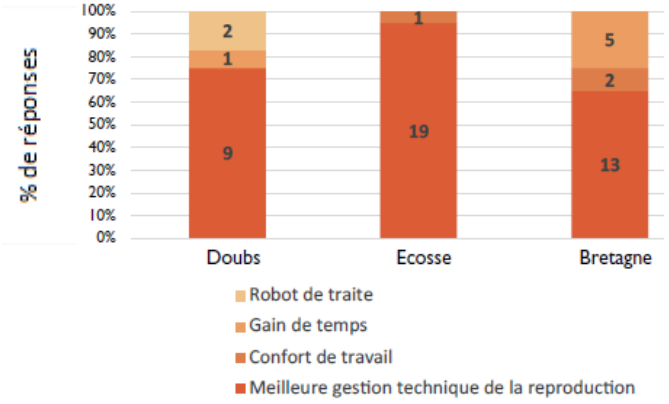



**Figure 1 :** Principales motivations à s'équiper à l'origine pour les éleveurs déjà équipés

- <u>Les freins à s'équiper</u>

Parmi les éleveurs non équipés, les freins à l'équipement en détecteurs automatisés des chaleurs étaient principalement le coût de l'équipement trop élevé (37/71), le retour sur investissement trop long ou défavorable (18/71) ou l'absence de besoin (14/71). La Figure 2 présente les résultats en détail.

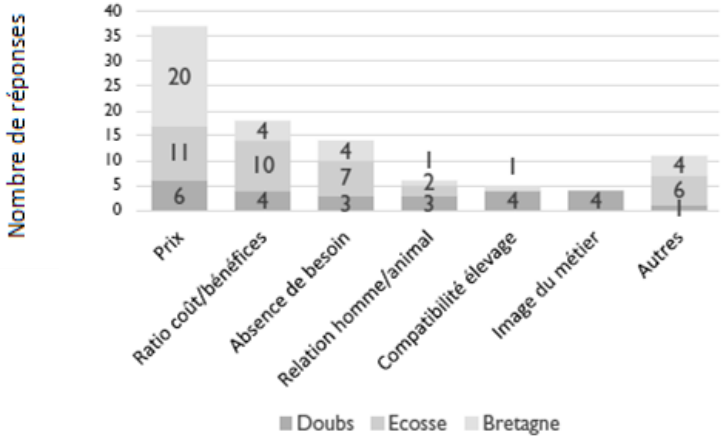



**Figure 2 :** Principaux freins à s'équiper pour les éleveurs non équipés

- <u>Les pratiques d'utilisation des capteurs de détection automatisée des chaleurs</u>

Chez les éleveurs équipés, les pratiques d'utilisation de ces outils peuvent être assez diverses (Figure 3). Globalement, trois stratégies se dégagent. La majorité des éleveurs (32/52) utilisent une stratégie dite intermédiaire, c'est-à-dire qu'ils ne cherchent pas à confirmer systématiquement les chaleurs visuellement lorsqu'ils reçoivent une alerte. Inversement, lorsqu'ils obervent une chaleur visuellement, ils n'attendent pas de recevoir une alerte provenant des capteurs pour appeler l'inséminateur. Le plus souvent, ils vérifient quand même le stade et le cycle de l'animal (date de vêlage, date de dernière IA). Cette stratégie est sans doute le meilleur compromis entre gain de temps/de confort, et gain de performance de détection. Environ un quart des éleveurs (13/52) continue de réaliser une observation visuelle systématique des chaleurs et confirme toujours visuellement une alerte reçue. Cette stratégie assure les meilleurs performances de détection, mais ne permet pas de gagner de temps. Enfin, seuls 7 éleveurs sur 52 délèguent totalement la détection à leur système de détection automatisée. Ils ne vérifient jamais les alertes et font confiance à leur outil. Cette stratégie permet surtout de gagner du temps.

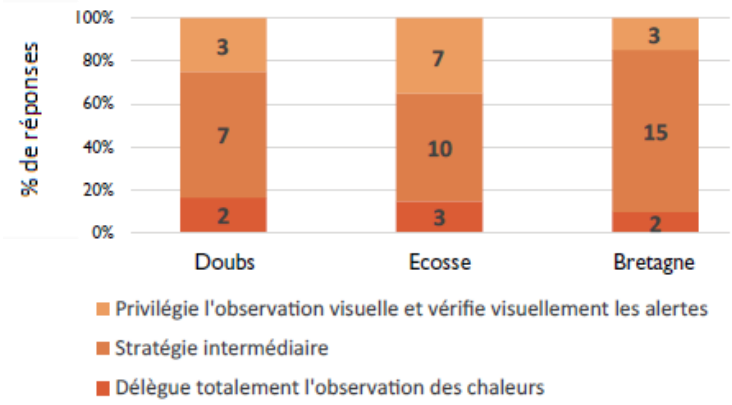



**Figure 3 :** Principales pratiques d'utilisation des capteurs

- <u>Satisfaction des outils *a posteriori*</u>

Une majorité d'éleveurs est satisfaite de la facilité de prise en main de l'outil et du service après vente de l'équipement (Figure 4). Un peu plus de la moitié a vu des impacts positifs sur les performances de détection des chaleurs, le temps passé à la détection et est satisfaite de la robustesse du matériel. Enfin, un tiers des éleveurs dit avoir vu un effet positif de leur équipement sur les performances de reproduction de leurs animaux et sur l'économie de leur élevage. Une variabilité est toutefois à noter entre les régions enquêtées sur ce dernier point. En effet, 15 éleveurs écossais sur 20 se disent satisfaits du retour sur investissement. Cela est principalement lié à la différence de taille des élevages, mais aussi et surtout à la présence d'une aide de l'état pour l'achat de ces technologies, réduisant drastiquement le coût de l'investissement.

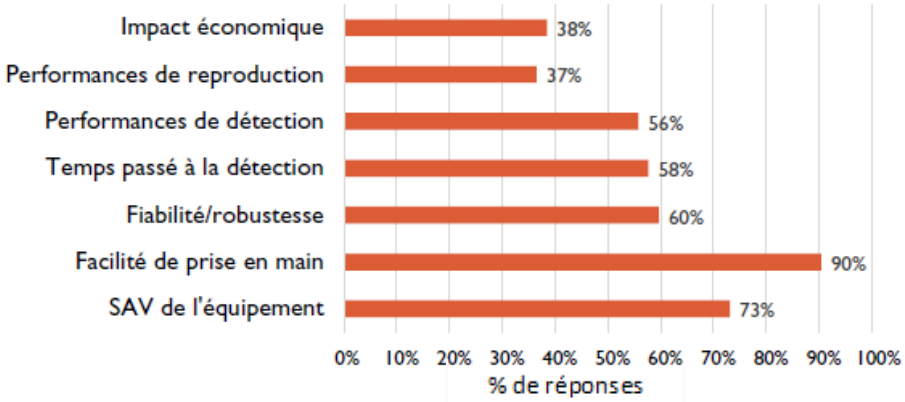



**Figure 4** : Taux de satisfaction des éleveurs enquêtés (seuls les impacts positifs sont présentés, le reste des réponses correspond à une absence d'impact)

Pour ce qui concerne le confort de travail (Figure 5), les trois quarts des éleveurs interrogés se disent satisfaits du gain de sérénité et de confiance apporté lors de la prise de décision d'inséminer les vaches en chaleur. Cela se traduit par un allègement de la charge mentale. Pour les autres dimensions du confort de travail (flexibilité, gain de temps, répartition des tâches,…) les avis sont plus nuancés.

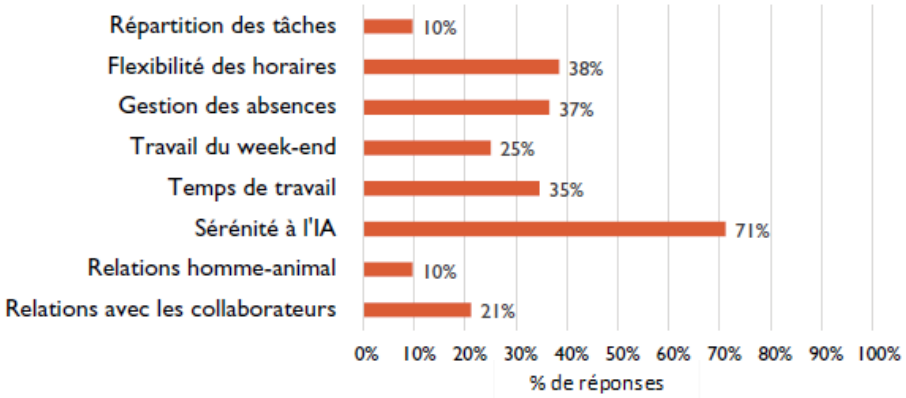



**Figure 5** : Impact des détecteurs automatisés des chaleurs sur le confort de travail (seuls les impacts positifs sont présentés, le reste des réponses correspond à une absence d'impact)

- Conclusions sur les enquêtes

Globalement, la très grande majorité des éleveurs (90%) est satisfaite des outils de détection automatisée des chaleurs. Ils ne reviendraient pas en arrière. Il est intéressant de constater la contradiction entre les motivations principales lors de l'équipement (gains techniques et économiques) et les motifs de satisfaction *a posteriori* (gain en confort de travail, notamment sur l'allègement de la charge mentale).

### *1.3 Evaluation de l'impact technico-économique d'un équipement en capteurs*

L'objectif de ce travail était d'évaluer les avantages économiques d'un investissement dans un système de détection automatisée des chaleurs (podomètre ou activitémètre) dans différents systèmes de production laitière en France. Il a été fait l'hypothèse que l'allongement de la durée de lactation consécutive à une fécondation retardée avait des impacts techniques et économiques différents selon les systèmes de production.

#### 1.3.1 Méthodologie

- Modèle de simulation de troupeau laitier

Un modèle stochastique dynamique individu centré (ECOMAST), fonctionnant dans le temps, a été utilisé pour simuler la vie d'une vache, de son entrée dans le troupeau (naissance ou achat) jusqu'à sa sortie (abattage ou mort). Le pas de temps utilisé est le jour. Le modèle a été créé à l'aide du logiciel Access (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Tous les événements discrets au niveau animal (tels que l'ovulation, la détection des chaleurs, la conception, le sexe du fœtus, la santé et les troubles de la reproduction) sont générés de manière stochastique par tirage au sort à partir de la distribution de probabilité appropriée.

Le modèle simule les processus biologiques (valeur génétique, cycle de reproduction, fonction de lactation et problèmes de santé), les pratiques de gestion des troupeaux (alimentation, renouvellement, vente, abattage, achat et gestion de la reproduction) et leur interaction. Ce modèle a été décrit de façon plus détaillée par Dezetter et al. (2017).

- Troupeaux simulés

Sept modèles de troupeaux de vaches laitières, correspondant à sept systèmes de production laitière différents en France, ont été simulés avec le modèle (Tableau 2). Ces troupeaux diffèrent en termes de race laitière (Holstein, Normande et Montbéliarde), de taille du troupeau (de 30 à 119 vaches), de rendement laitier moyen par vache par an (de 5 200 à 8450 litres), de lieu (plaine ou montagne), et de type de lait produit (conventionnel vs. AOP). De plus, ces troupeaux ont des pratiques de conduites de

la reproduction différentes (Groupé : vêlage groupé sur 5 mois vs. Etalé : vêlage sur toute l'année). Les données pour ces 7 troupeaux ont été obtenues des réseaux d'élevage INOSYS de l'Institut de l'élevage.

**Tableau 2** : Caractéristiques principales des exploitations simulées

| N° de l'exploitation | Race | Nb de vaches | Production laitière (l/vache/an) | Vêlages | Type de production |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Holstein | 50 | 5755 | Groupés | Conventionnel |
| 2 | Normande | 56 | 6350 | Groupés | AOP* |
| 3 | Normande | 68 | 6322 | Groupés | AOP* |
| 4 | Holstein | 119 | 8450 | Etalés | Conventionnel |
| 5 | Montbéliarde | 30 | 5200 | Etalés | Conventionnel |
| 6 | Montbéliarde | 77 | 7003 | Etalés | Conventionnel |
| 7 | Holstein | 38 | 7021 | Etalés | Conventionnel |

*Appellation d'Origine Protégée

- Scénarios simulés

Pour chaque ferme, six scénarios ont été simulés. Ces scénarios ont été obtenus en combinant :

- Deux valeurs de Sensibilité (Se) pour la détection de la chaleur : 50% (sensibilité de la détection de la chaleur avant utilisation de dispositifs de détection automatiques de l'œstrus) et 90% (sensibilité de la détection de la chaleur avec des dispositifs de détection automatiques de l'œstrus).
- La spécificité (Sp) a été maintenue à 95%.
- Trois taux d'équipement (vaches avec des colliers) : 40%, 80% et 100%. Le taux de 40% n'a pas été utilisé dans les troupeaux à vêlage groupé. Pour chaque scénario, 10 années ont été simulées, avec 250 répétitions. Les données des cinq premières années de simulation n'ont pas été utilisées dans notre étude car elles ont été utilisées pour calibrer les simulations. Par conséquent, la moyenne des résultats de simulation des 5 dernières années a été utilisée pour calculer le retour sur investissement d'un système de détection automatisée des chaleurs.

Les données économiques (prix de vente du lait et des animaux et prix d'achat des concentrés) utilisées pour simuler chaque troupeau ont été obtenues à partir du contexte économique français de 2014.

- Estimation de la rentabilité économique d'un système de détection automatisée des chaleurs

La différence entre la marge brute annuelle (ΔMBA) avant et après l'utilisation d'un système de détection automatisée des chaleurs a été utilisée pour estimer la rentabilité économique d'un tel investissement. Deux types de détecteurs de chaleur automatisés ont été testés (accéléromètre et podomètre) avec des niveaux de durée de vie et d'investissement spécifiques à chaque type (Tableau 3). Les coûts annuels de maintenance et de remplacement des capteurs défectueux n'ont pas été pris en compte en raison de la considération d'une garantie. Deux indicateurs de rentabilité économique ont été calculés : la valeur actuelle nette (VAN) et le taux de rendement interne (TRI).

La VAN est la différence entre la somme de la ΔMBA, actualisée pendant la durée de vie des capteurs, et du coût d'investissement initial (CII) :

$$VAN = \sum_{n=1}^{n=p} \frac{\Delta\mathrm{MBA}}{(1+TA)^n} - CII \qquad (1)$$

où n est la durée de vie technique des détecteurs automatiques de chaleur et TA le taux d'actualisation. La valeur utilisée dans notre étude (2,1%) a été établie selon les données de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE).

Un investissement est considéré comme rentable si la VAN est supérieure à zéro. Le deuxième indicateur (TRI) correspond à la valeur du taux d'actualisation qui annule la VAN. Si le TRI est supérieur au TA choisi (2,1%), cela signifie que l'investissement est rentable.

**Tableau 3** : Coûts de deux systèmes pour la détection des chaleurs (accéléromètre et podomètre) obtenus auprès de fournisseurs en France

| | Podomètre | Accéléromètre |
|---|---|---|
| Durée de vie (an) | 10 | 5 |
| Coût du système de transmission et logiciel (€) | 6498 | 4430 |
| Capteurs (€) | 107 | 120 |

- Résultats des simulations

Le Tableau 4 montre que l'utilisation d'un dispositif automatique de détection des chaleurs diminue l'intervalle de vêlage entre 7 jours (troupeaux de vaches Normandes) et 23 jours (troupeaux de vaches Holstein). Ces résultats sont en accord avec les performances de reproduction observées dans l'étude de Delaby et al. (2013), réalisée dans une ferme expérimentale en France : les taux de réussite à la première IA et des IA cumulées étaient plus élevés chez les vaches Normande, puis en Holstein.

L'augmentation de la sensibilité de détection de chaleur, due à l'utilisation d'un système de détection automatique des chaleurs, a eu un effet significatif sur l'intervalle entre les vêlages dans les troupeaux à vêlage étalés (réduction comprise entre 10 et 23 jours) par rapport aux troupeaux à vêlages groupés (réduction comprise entre 6 et 11 jours ; Tableau 4). Ce résultat s'explique par le taux de réforme plus élevé des vaches présentant des troubles de la reproduction ou de l'infertilité dans les troupeaux à vêlages groupés, que dans les troupeaux à vêlages étalés. En conséquence, l'amélioration de la sensibilité de détection des chaleurs a un impact plus important sur l'IVV sur les troupeaux à vêlages étalés.

**Tableau 4** : Variation de l'intervalle entre les vêlages et de la marge brute annuelle par vache entre les situations avec (Se = 90%) et sans (Se = 50%) l'utilisation d'un dispositif de détection automatique des chaleurs. Les variations présentées sont la situation avec moins la situation sans.

| N° d'exploitation | Variation de l'intervalle vêlage-vêlage (IVV en jours) | Variation de marge brute annuelle (€/vache) |
|---|---|---|
| 1 | -12 | +49,5 |
| 2 | -6 | +8,5 |
| 3 | -6 | +38,4 |
| 4 | -23 | +24,6 |
| 5 | -10 | +92,5 |
| 6 | -16 | +36,6 |
| 7 | -14 | +31,7 |

Dans notre étude, l'amélioration de la sensibilité de la détection des chaleurs obtenue grâce à l'utilisation d'un dispositif de détection automatique a eu un effet important sur l'intervalle entre vêlages (réduction de 14 à 23 jours) pour les exploitations à niveau de production élevé (> 7 000 l / vache / année ; Tableau 4, fermes 4, 6 et 7). Dans plusieurs études, une augmentation du niveau de production laitière est associée à une diminution des performances de reproduction des vaches (Walsh et al., 2011). De plus, selon Plaizier et al. (1998), l'amélioration de la détection de la chaleur a un impact plus

important lorsque les performances de reproduction initiales du troupeau sont médiocres. Par conséquent, cela explique l'effet important d'un dispositif automatisé de détection des chaleurs sur l'intervalle entre vêlages dans les exploitations à niveau de production élevé. Pour la rentabilité économique d'un investissement dans un dispositif de détection automatique des chaleurs, le Tableau 5 indique la valeur du TRI selon le type d'équipement, les taux d'équipement (vaches équipées) et les systèmes d'élevage.

**Tableau 5 :** Valeurs de taux de rendement interne (TRI) en fonction du type de système automatisé, du taux d'équipement et du système d'élevage laitier

| N° d'exploitation | Podomètre | | | Accéléromètre | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Taux d'équipement | | | Taux d'équipement | | |
| | 40% | 80% | 100% | 40% | 80% | 100% |
| 1 | Non estimé | 16,9% | 14,3% | Non estimé | 3,9% | 1,4% |
| 2 | Non estimé | 0,2%* | 0,1%* | Non estimé | NC** | NC** |
| 3 | Non estimé | 16,6% | 13,6% | Non estimé | 6,1% | 1,1%* |
| 4 | 13,1% | 11,9% | 8,5% | 13,9% | 0,1% | NC** |
| 5 | 26,8% | 25,6% | 23,4% | 33,8% | 22,7% | 18,4% |
| 6 | 18,4% | 16,7% | 13,5% | 21% | 5,6% | 0,05%* |
| 7 | 2,7% | 1,5%* | 0,8%* | 0,04%* | NC** | NC** |

*Investissement non rentable ; **NC : TRI non calculé (investissement non rentable)

L'investissement est rentable dans les deux tiers des situations, caractérisées par des prix du lait élevés, des troupeaux de grande taille, ou un faible pourcentage de vaches équipées d'un système automatisé. L'effet de la taille du troupeau correspond à une réduction du coût d'achat du système de transmission de données et du logiciel, qui est fixe quelle que soit la taille du troupeau. De même, plus le taux d'équipement est bas, plus le coût d'investissement est bas.

Pour l'effet du prix du lait, la vente de lait est la principale source de revenus des fermes laitières. L'amélioration de la sensibilité de la détection de la chaleur augmente la quantité de lait produite par vache et par an (Rutten et al., 2014). Par conséquent, dans les exploitations où le prix du lait est élevé (appellation d'origine protégée), l'amélioration de la sensibilité de la détection de la chaleur a plus de chances de couvrir le coût de l'investissement. En outre, des avantages plus importants pourraient être obtenus si l'agriculteur économisait du temps de travail tout en utilisant le dispositif de détection automatique des chaleurs. En effet, nous avons choisi de ne pas inclure le temps de travail dans l'estimation de la rentabilité économique car une étude précédente avait montré que seulement la moitié des agriculteurs ont estimé avoir économisé du temps de travail (Allain et al., 2016).

- Conclusions sur l'impact technico économique

Les résultats de notre étude suggèrent que le retour sur investissement devrait être estimé pour chaque système d'exploitation afin de tenir compte de la variabilité de chacun des systèmes.

### *1.4 Formalisation d'un outil d'aide à la décision avant équipement*

L'objectif opérationnel de cette sous-action était de développer un outil d'aide au choix pour s'équiper (ou non) de détecteurs automatisés des chaleurs, basé sur les résultats des travaux réalisés précédemment. Cet outil est composé de trois éléments :

- Un outil d'aide au choix de s'équiper
- Un inventaire des technologies disponibles sur le marché
- Un calculateur permettant d'évaluer le retour sur investissement dans ces technologies

## 1.4.1 Outil d'aide au choix

Un outil d'aide au choix de s'équiper ou non a été développé à partir des résultats des enquêtes réalisées auprès des éleveurs laitiers. Cet outil a été conçu sous la forme d'un arbre d'aide à la décision permettant d'aiguiller l'éleveur vers le choix le plus adapté à ses besoins, en fonction de ses attentes, de son système d'élevage et de ses pratiques de reproduction.

La Figure 6 présente deux résultats de recherche.

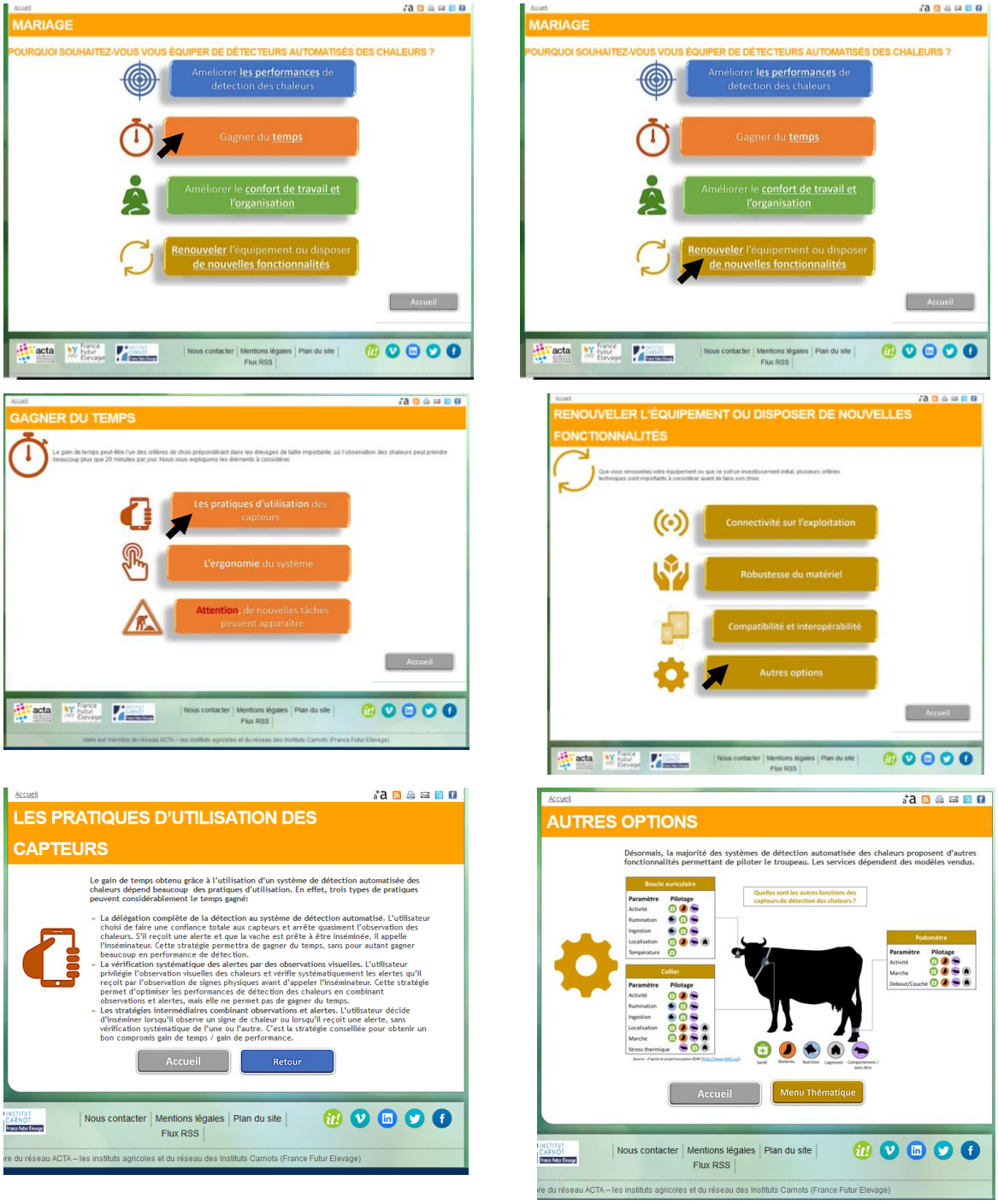



**Figure 6 :** Exemple d'utilisation de l'outil. Colonne de gauche : Comment gagner du temps selon les pratiques d'utilisation de l'outil. Colonne de droite : disposer d'autres fonctionnalités des capteurs

### 1.4.2 Inventaires des technologies de détection des chaleurs

Pour aider les éleveurs à s'orienter dans la multitude de capteurs et de solutions technologiques disponibles sur le marché pour la détection des chaleurs, un inventaire des solutions existantes a été réalisé. Celui-ci recense l'ensemble des outils, au-delà de la simple détection des chaleurs. Il sera mis en ligne à la fin de l'année 2019 sur le site idele.fr et actualisé régulièrement.

La Figure 7 présente la maquette de l'outil qui sera développé. Celui-ci proposera un filtrage par filière, thématique et type de paramètre mesuré.

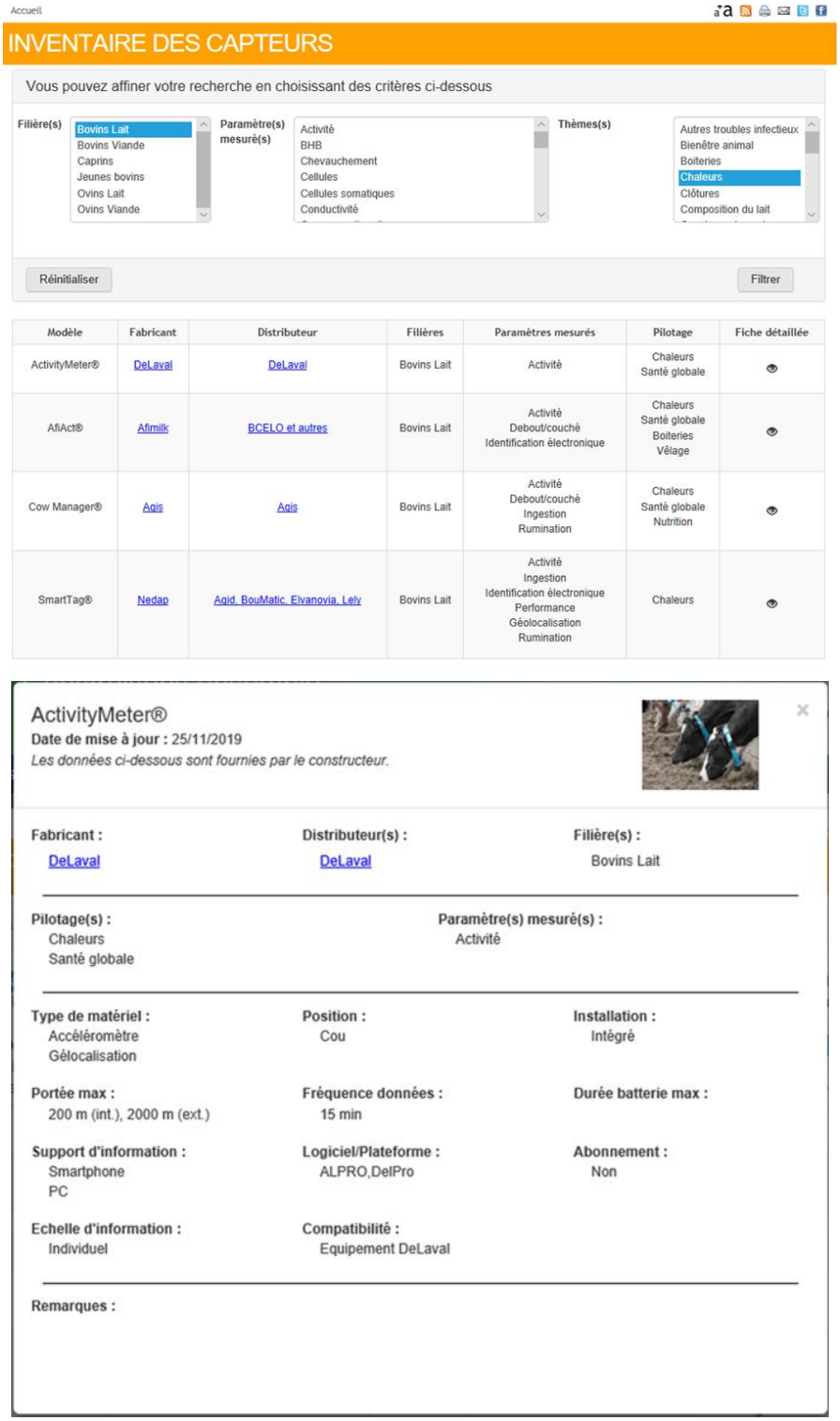
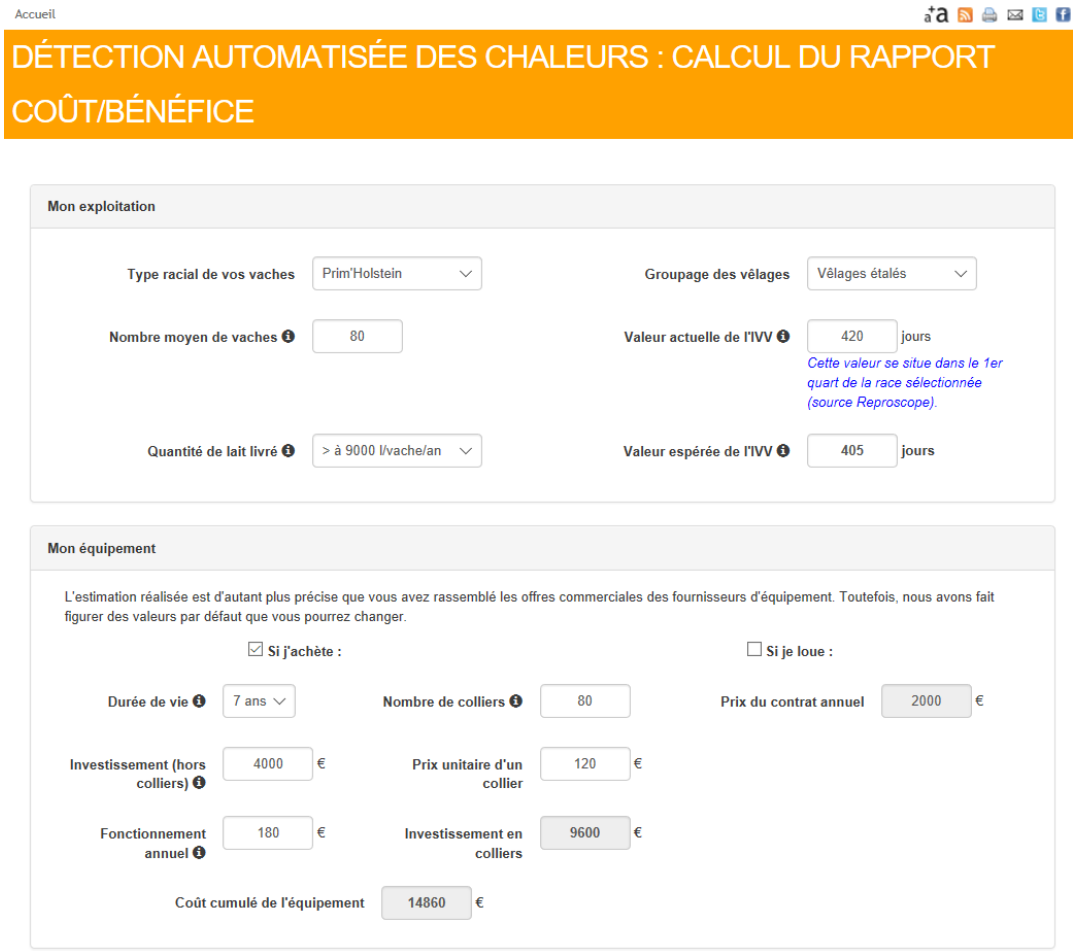



**Figure 7** : Maquette de l'inventaire des technologies de détection des chaleurs

- Calculateur du retour sur investissement

Le calculateur présenté en Figure 8 est basé sur les travaux décrits en 1.3. Les résultats de ces travaux ont permis de produire un outil simplifié et disponible sur le site idele.fr (http://idele.fr/services/outils/mariage.html). En quelques clics, l'utilisateur renseigne certaines informations sur son exploitation (race de ses vaches, nombre de vaches dans le troupeau, quantité de lait livré, groupage des vêlages), sur les performances de reproduction de ses animaux (IVV actuel et amélioration espérée), sur l'équipement (coût, nombre de capteurs, durée de vie des capteurs, …). L'outil calcule le gain économique lié à l'amélioration de l'IVV et le bilan économique une fois le coût de l'équipement déduit.

Dans l'exemple présenté ci-dessous, il s'agit d'un troupeau de 80 vaches laitières Holstein hautes productrices, en vêlages groupés et avec un IVV de départ de 420 jours. Dans l'hypothèse d'une amélioration de l'IVV de 15 jours, cela ne permet pas de rentabiliser l'investissement.



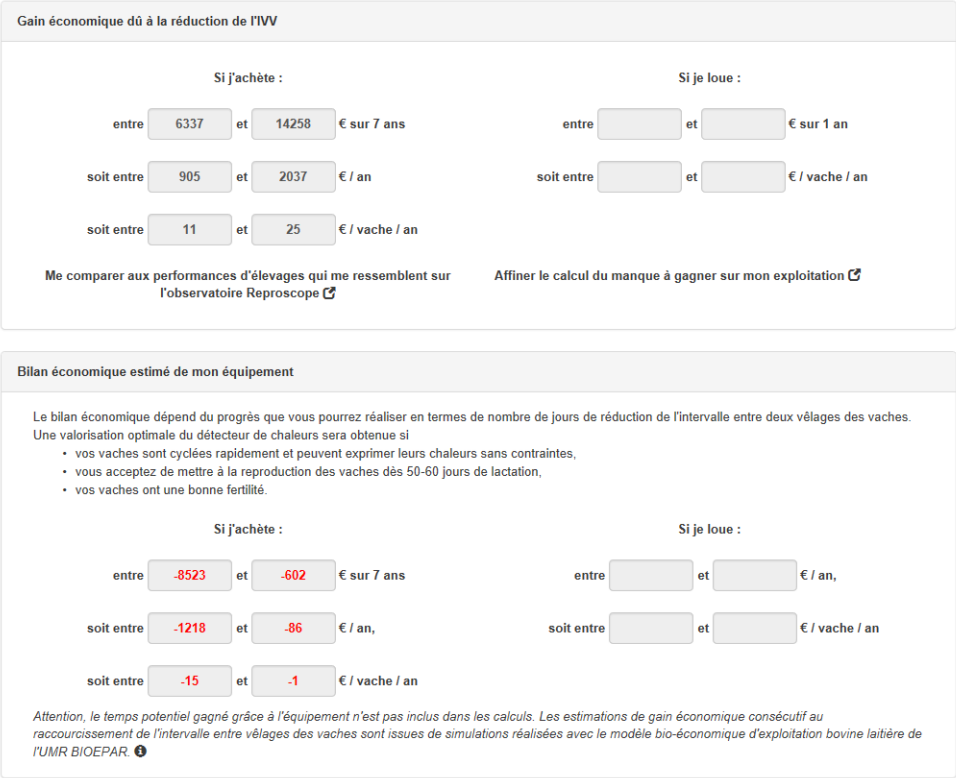



**Figure 8** : Calculateur de l'impact technico économique

## 2. D'une utilisation individuelle vers une valorisation collective des données des capteurs

### *2.1 Objectifs de l'action*

Les objectifs de cette action étaient de :

(1) Accompagner les acteurs de la filière dans **la valorisation des données issues des capteurs**.

(2) **Caractériser l'expression des chaleurs** et la cyclicité à partir des enregistrements automatisés des capteurs de monitoring de l'activité physique.

(3) Valoriser les données au-delà de l'individu (**échelle troupeau**).

### *2.2 Constitution d'une base de données support du projet*

#### 2.2.1 Méthodologie

Cette sous-action était dédiée à la constitution d'une base de données (BD), étape indispensable à la réalisation des actions suivantes, pour pouvoir valoriser les données issues des capteurs en les agrégeant à d'autres informations. Cet ensemble comprenait donc des données issues :

- **De capteurs de monitoring de l'activité**. Il s'agissait notamment des alertes produites par un capteur à destination des éleveurs, enrichies d'informations complémentaires qui permettaient de caractériser les spécificités des animaux en alerte (intensité, durée du pic d'activité en cas d'alerte, et autres indicateurs de niveau d'activité fournis plusieurs fois par jour…). L'identifiant de l'animal correspondant à chacune de ces informations a également été enregistré. Ces données ont été fournies par Medria, à partir du dispositif HeatLive ® déjà déployé en élevage.

- **Des bases de données génétiques nationales**, pour renseigner des informations complémentaires relatives aux animaux (identifiant, race, âge au vêlage …), aux évènements d'insémination ou de vêlage et aux performances laitières (niveau de production, composition du lait, etc.).

### 2.2.2 Description de la base de données finale

La base de données finale était constituée de :

- **91 069 lactations avec au moins une alerte** (dont 69 780 alertes de vaches et 21 289 alertes de génisses).
- **1043 élevages** différents répartis principalement sur l'ouest de la France.
- **293 343 alertes chaleurs** (suractivité).

Les lactations étaient représentées à :

- 89,4% par des vaches Holstein
- 7,4% par des Normandes
- 2,7% par des Montbéliardes
- 0,5% par d'autres types raciaux

La base de données brute est décrite dans le Tableau 6.

**Tableau 6 :** Description de la base de données du projet Mariage

| | Nombre | Moyenne | Médiane | ET |
|---|---|---|---|---|
| Rang de lactation | 91069 | 1,6 | 1 | 1,4 |
| Production (kg sur 305 j) | 91069 | 8531 | 8580 | 1936 |
| TB moyen (g/kg) | 69780 | 39 | 38,7 | 4,3 |
| TP moyen (g/kg) | 69780 | 31,7 | 31,5 | 2,2 |
| Intervalle vêlage-IA1 (j) | 69780 | 96,5 | 88 | 37,9 |
| Intervalle vêlage-IAF (j) | 54723 | 151,5 | 132 | 79,1 |
| Intervalle vêlage-pose capteur (j) | 69780 | 57 | 55 | 54,1 |
| Intervalle vêlage-alerte 1 (j) | 69780 | 87,7 | 83 | 42,1 |
| Intervalle pose capteur-IA1 (j) | 91069 | 34,5 | 29 | 59,5 |
| Intervalle pose capteur-IAF (j) | 74504 | 86,7 | 64 | 83,7 |
| Intervalle pose capteur-Alerte 1 (j) | 91069 | 28,2 | 20 | 34,8 |
| Intervalle pose-retrait capteur (j) | 10642 | 152,7 | 134 | 85,7 |
| Nb d'alerte par lactation | 91069 | 3,2 | 3 | 2,3 |
| Durée des alertes (h) | 293343 | 16,2 | 14,5 | 6,7 |
| Durée entre deux alertes (j) | 202274 | 22,8 | 19,9 | 18 |
| Amplitude de l'alerte (index activité) | 293343 | 14,5 | 12 | 10,1 |
| Aire sous la courbe | 293343 | 104,7 | 72 | 93,2 |

## 2.3 Traitement de la base de données

### 2.3.1 Pratiques de pose et d'utilisation des capteurs

Le Tableau 6 donne quelques enseignements sur les pratiques de pose et d'utilisation des capteurs par les éleveurs. En moyenne, les capteurs sont posés 57 jours après le vêlage, ce qui correspond approximativement au délai de 50 jours recommandé pour commencer les inséminations. Cependant, cette période moyenne est trop longue pour détecter les premières suractivités, accompagnant les premières chaleurs, qui se situent autour d'une trentaine de jour après vêlage (Løvendahl et Chagunda, 2010). De fait, l'intervalle entre le vêlage et la 1ère alerte est en moyenne de 87 jours, compte tenu de cette pose tardive. Lorsque la date de retrait de capteur est renseignée, les capteurs sont laissés en moyenne 153 jours sur les animaux, avec une grande variabilité de pratiques. En effet, certains éleveurs les laissent de façon permanente sur les vaches quand d'autres les enlèvent quelques jours après le diagnostic de gestation, notamment lorsque tous les animaux ne sont pas équipés, pour les poser sur d'autres vaches.

### 2.3.2 Effet de la race et de la parité sur l'expression des chaleurs

Le Tableau 7 montre l'effet croisé de la race et de la parité sur les indicateurs d'expression des chaleurs mesurés par les capteurs. L'amplitude de la suractivité mesurée est clairement influencée par la race des animaux, principalement chez les génisses et les primipares. En effet, l'index d'amplitude de suractivité calculé par Medria est en moyenne de 15 chez les génisses de race Holstein, lorsqu'il est de 12,2 ou de 12,3 respectivement chez les Montbéliardes et les Normandes. Pour les primipares, cet écart se restreint (15,7 pour les Holstein, 14,4 pour les Montbéliardes et 14,1 chez les Normandes) et il devient quasiment inexistant pour les multipares.

En ce qui concerne la parité, quelle que soit la race, les indicateurs d'expression des chaleurs mesurés par les capteurs augmentent entre les génisses et les primipares, puis entre les primipares et les multipares (excepté pour les vaches de race Holstein). Par exemple, pour les vaches de race Normande, l'amplitude moyenne de l'index de suractivité passe de 12,3 pour les génisses à 14,1 pour les primipares et 14,8 pour les multipares. La durée moyenne des suractivités est de 14,9, 15,4 et 16,2 heures respectivement pour les génisses, primipares et multipares. Pour les Normandes, l'aire sous la courbe moyenne est de 81,3 pour les génisses, de 93,2 pour les primipares et de 103 pour les multipares.

**Tableau 7 :** Effet de la race et de la parité sur les indicateurs d'expression des chaleurs mesurés par les capteurs (46 : Montbéliarde, 56 : Normande, 66 : Holstein). Amplitude et aire sous la courbe sont sans unité. Durée de la suractivité en heures

| | | Amplitude de la suractivité | | | Durée de la suractivité | | | Aire sous la courbe | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 46 | 56 | 66 | 46 | 56 | 66 | 46 | 56 | 66 |
| Génisses | Moy | 12,2 | 12,3 | 15,0 | 15,6 | 14,9 | 16,5 | 84,8 | 81,3 | 115,9 |
| | ET | 8,8 | 8,5 | 9,9 | 6,9 | 6,4 | 6,8 | 77,3 | 69,7 | 97,6 |
| | Med | 10,0 | 10,0 | 13,0 | 13,5 | 13,0 | 15,0 | 59 | 60,0 | 84,0 |
| Primipares | Moy | 14,4 | 14,1 | 15,7 | 16,0 | 15,4 | 16,7 | 103,8 | 93,2 | 115,3 |
| | ET | 9,7 | 9,6 | 10,5 | 6,5 | 6,3 | 6,6 | 89,7 | 81,7 | 96,2 |
| | Med | 12,0 | 12,0 | 13,0 | 14,5 | 14,0 | 15,5 | 73,0 | 64,0 | 85,0 |
| Multipares | Moy | 15,4 | 14,8 | 15,0 | 16,9 | 16,2 | 16,8 | 123,1 | 103,0 | 113,0 |
| | ET | 10,7 | 10,1 | 10,4 | 6,6 | 6,8 | 6,7 | 113,1 | 92,2 | 96,5 |
| | Med | 12,0 | 12,0 | 12,0 | 16,0 | 14,5 | 15,5 | 83,0 | 69,0 | 82,0 |

Le Tableau 8 montre l'effet de la race et de la parité des animaux sur l'intervalle entre deux alertes. La race a un effet important sur la durée de ce cycle. En effet, les vaches de race Holstein ont un intervalle moyen de 22,3 jours, les Normandes de 21,7 jours et les Montbéliardes de 20,6 jours.

**Tableau 8 :** Effet de la race et de la parité sur l'intervalle (jours) entre deux alertes successives (avec Nb = nombre d'alertes; 46 : Montbéliarde, 56 : Normande, 66 : Holstein).

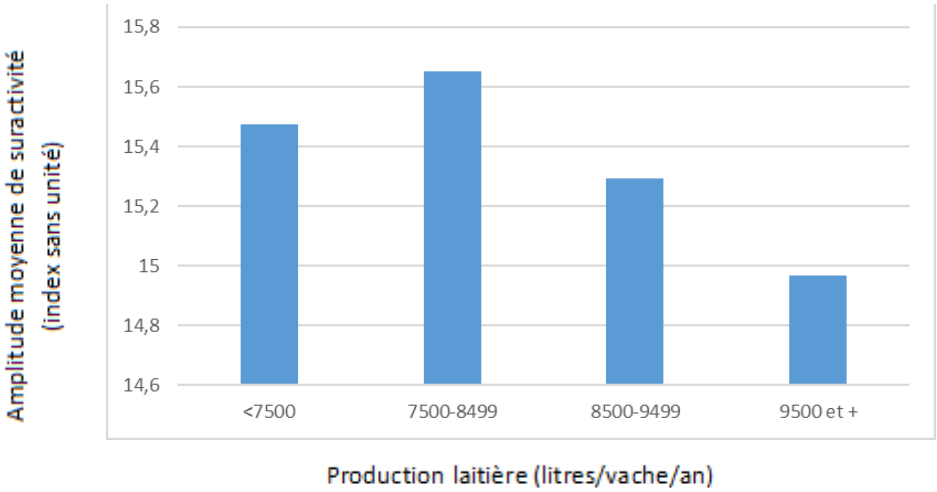
| **Race** | 66 | 56 | 46 | **Parité** | Gen | Primi | Multi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| moyenne | 22,3 | 21,7 | 20,6 | moyenne | 18,4 | 22,7 | 24 |
| médiane | 21 | 20 | 19 | médiane | 17 | 21 | 22 |
| Q1 | 12 | 11 | 10 | Q1 | 9 | 13 | 14 |
| Q3 | 25 | 25 | 23 | Q3 | 22 | 26 | 27 |
| sd | 14,2 | 15 | 14,2 | sd | 12,5 | 14,1 | 14,9 |
| Nb | 146 453 | 11 032 | 4 448 | Nb | 39 969 | 48 493 | 73 471 |

L'effet de la race et de la parité sur l'expression des chaleurs a déjà été décrit dans la littérature scientifique (Disenhaus et al., 2010). Ces premiers travaux confirment donc les observations visuelles déjà réalisées dans les recherches antérieures, mais à partir de données collectées automatiquement.

### 2.3.3 Effet de la production laitière sur l'expression des chaleurs

La Figure 9 présente l'effet du niveau de production laitière sur les différents indicateurs de l'expression des chaleurs mesurés par les capteurs HeatLive ® lors d'une alerte, pour les vaches de race Holstein uniquement. Les fortes productrices (au-delà de 9500 kg de lait) ont un niveau d'expression faiblement inférieur, quel que soit l'indicateur utilisé. Cela confirme les travaux cités par Disenhaus et al., (2010), sur l'effet du niveau de production laitière sur l'expression des chaleurs.

Dans notre étude, un niveau de production laitière intermédiaire (entre 7500 et 9500 kg) semble favoriser l'expression des chaleurs, bien que les écarts soient assez faibles.



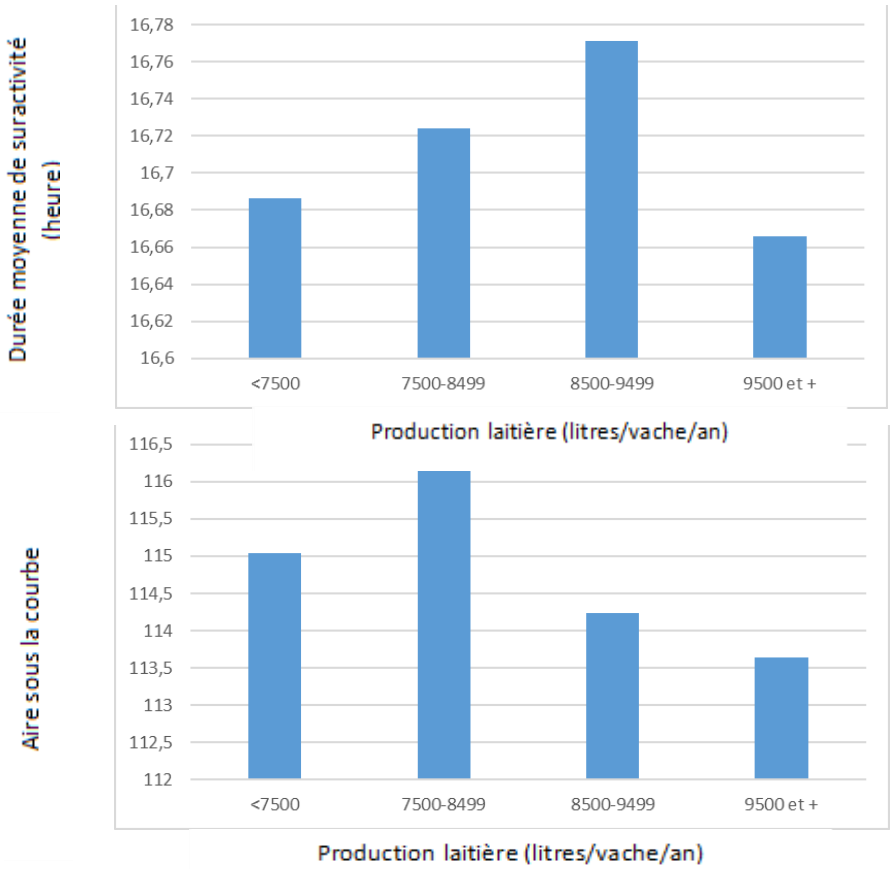



**Figure 9 :** Effet du niveau de production laitière sur les indicateurs d'expression des chaleurs mesurés par les capteurs (vaches Holstein uniquement, nombre d'alertes = 224838)

### 2.3.4 Poursuite des travaux

Des travaux complémentaires sont envisagés pour valoriser cette base de données. Parmi ces travaux :

- Evaluer l'héritabilité des indicateurs d'expression des chaleurs mesurés par les capteurs. Puis, produire des recommandations liées à la valorisation des caractères décrivant l'expression des chaleurs : objectifs d'utilisation, définition des caractères, règles de calcul, données nécessaires à leur élaboration, format des données, performances minimales requises par les outils utilisés pour la détection des chaleurs.
- Elaborer des recommandations liées à la valorisation des indicateurs de performances de reproduction à l'échelle du troupeau : des tableaux de bord, valorisables par les constructeurs, les organismes de conseil en élevage et/ou les coopératives d'insémination, seront proposés
- Elaborer des recommandations liées plus globalement à l'utilisation des données des capteurs : des réflexions sur la propriété des données, les standards d'échange des données, le contrôle de leur qualité seront menées. Il s'agit d'une étape plus générique de réflexion prospective en vue d'une potentielle valorisation future des données des capteurs à grande échelle.

## Conclusion

Le projet CASDAR MARIAGE a rendu accessible de nouveaux outils techniques et économiques, permettant aux éleveurs laitiers de s'orienter ou non vers le choix d'un équipement en détection automatisée des chaleurs. Ces outils faciliteront l'approche du conseil pour les intervenants en élevage.

Ces différents outils permettent en effet de prendre en compte caractéristiques et/ou les stratégies de conduite de la reproduction pour les élevages concernés.

Par ailleurs, les données produites automatiquement par les capteurs de détection des chaleurs sont prometteuses pour caractériser l'expression des chaleurs grâce à de nouveaux indicateurs (intensité et durée des épisodes de suractivité). Cependant, ces travaux doivent être poursuivis dans les prochains mois pour arriver à des résultats utilisables sur le terrain.

**Références bibliographiques**

Allain C., Chanvallon A., Clément P., Guatteo R., Bareille N., 2014. Elevage de précision : périmètre, applications et perspectives en élevage bovin. Renc. Rech. Ruminants 2014, 21, 3-10.

Allain C., Quinton P., Philibert A., Cros P., Herman M., Cimino M., Frappat B., Larsonneur S., Lafont N., 2015. La connectivité des élevages laitiers. Renc. Rech. Ruminants 2015, 22, 403.

Allain C., Chanvallon A., Courties R., Billon D., Bareille N., 2016. Technical, economic and sociological impacts of an automated estrus detection system for dairy cows. In, Conference on Precision Dairy Farming, Leeuwarden, The Netherlands, 2016/06/21-23, 451-456.

Chanvallon A., Coyral-Castel S., Gatien J., Lamy J.M., Ribaud D., Allain C., Salvetti P., 2014. Comparison of three devices for the automated detection of estrus in dairy cows. Theriogenology, 82(5), 734-741.

Delaby L., Faverdin P., Michel M., Disenhaus C., Peyraud J.L., 2013. Effect of different feeding strategies on lactation performance of Holstein and Normande dairy cows. Animal. 3: 891-905. doi: 10.1017/S1751731109004212.

Dezetter C., Bareille N., Billon D., Côrtes C., Lechartier C., Seegers H., 2017. Changes in animal performance and profitability of Holstein dairy operations after introduction of crossbreeding with Montbéliarde, Normande, and Scandinavian Red. Journal of Dairy Science, 100, 8239-8264.

Disenhaus C., Cutullic E., Freret S., Paccard P., Ponsart C., 2010. Vers une cohérence des pratiques de détection des chaleurs : intégrer la vache, l'éleveur et le système d'élevage. Renc. Rech. Ruminants.

Løvendahl P., Chagunda M.G.G., 2010. On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows. Journal of Dairy Science, 93(1), 249-259.

Plaizier J.C.B., King G.J., Dekkers J.C.M., Lissemore K., 1998. Modeling the relationship between reproductive performance and net-revenue in dairy herds. Agricultural Systems. 56:305 322. doi:10.1016/S0308-521X(97)00044-9.

Rutten C.J., Steeneveld W., Inchaisri C., Hogeveen H., 2014. An ex ante analysis on the use of activity meters for automated estrus detection: to invest or not to invest? .Journal of Dairy Science. 97:6869 87. doi:10.3168/jds.2014-7948.

Saint-Dizier M., Chastant-Maillard S., 2018. Potential of connected devices to optimize cattle reproduction. Theriogenology, 112, 53-62.

Walsh S.W., Williams E.J., Evans A.C.O., 2011. A review of the causes of poor fertility in high milk producing dairy cows. Animal Reproduction Science. 123: 127-138. doi: 10.1016/j.anireprosci.2010.12.001

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).