



HAL
open science

CowPILOT -Piloter la note d'état corporel pour optimiser la reproduction des vaches laitières

Fabrice Bidan, Charlotte Dezetter, Olivier Martin, Claire Manoli, Luc Delaby, Jocelyn Fagon, Fabienne Blanc, Marie Lamarre, Ahmed Ben-Abdelkrim, Timothée Petit, et al.

► To cite this version:

Fabrice Bidan, Charlotte Dezetter, Olivier Martin, Claire Manoli, Luc Delaby, et al.. CowPILOT -Piloter la note d'état corporel pour optimiser la reproduction des vaches laitières. *Innovations Agronomiques*, 2024, 94, pp.327-343. 10.17180/ciag-2024-vol94-art22 . hal-04617235

HAL Id: hal-04617235

<https://hal.inrae.fr/hal-04617235v1>

Submitted on 19 Jun 2024

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



CowPILOT - Piloter la note d'état corporel pour optimiser la reproduction des vaches laitières

Fabrice BIDAN¹, Charlotte DEZETTER², Olivier MARTIN³, Claire MANOLI², Luc DELABY⁴,
Jocelyn FAGON¹, Fabienne BLANC⁵, Marie LAMARRE², Ahmed BEN-ABDELKRIM³,
Timothée PETIT², Nicolas BÉDÈRE⁴, Sandrine FRÉRET⁶

¹ Institut de l'Élevage, 149, rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12, France

² École Supérieure des Agricultures, USC URSE –Unité de Recherche sur les Systèmes d'Élevage, INRAE, 49007 Angers, France

³ Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR MOSAR – Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants, 91120, Palaiseau, France

⁴ INRAE, Institut Agro, UMR PEGASE – Physiologie, Environnement et Génétique pour l'animal et les Systèmes d'Élevage, 35590 Saint Gilles, France

⁵ Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champagnelle, France

⁶ CNRS, IFCE, INRAE, Université de Tours, UMR PRC – Physiologie de la Reproduction et des Comportements, 37380 Nouzilly, France

Correspondance : fabrice.bidan@idele.fr

Résumé : Le projet CowPILOT avait pour objectif d'évaluer la possibilité du pilotage individuel de la note d'état corporel (NEC) afin d'optimiser la reproduction des vaches laitières. Les enquêtes auprès d'éleveurs et techniciens ont indiqué que son utilisation en routine pour gérer la reproduction reste à construire. A partir de données issues de six fermes expérimentales, des profils d'évolution de l'état corporel au cours de la lactation ont pu être mis en évidence : 4 en race Holstein et 3 en race Normande. Les différences de performance de reproduction ont été de faible ampleur entre les profils. Éleveurs et conseillers ont échangé autour des leviers pour mieux piloter la NEC : ils y sont peu enclins au cours de la lactation. L'adaptation des durées de tarissement apparait comme un levier acceptable pour piloter la NEC lors de la lactation suivante ; l'approche par modélisation a confirmé son influence sur les performances de reproduction.

Mots-clés : vache laitière, reproduction, réserves corporelles

Abstract: CowPILOT - using the body condition score to optimize reproduction in dairy cows

The aim of the CowPILOT project was to evaluate the possibility of individual control of body condition score (BCS) to optimize dairy cow reproduction. Surveys of farmers and technicians showed that its routine use to manage reproduction has still to be developed. Based on data from six experimental farms, profiles of variation in body condition during lactation were identified: 4 in the Holstein breed and 3 in the Normande breed. The differences in reproductive performance between the profiles were narrow. Farmers and advisors discussed ways of better managing BCS: they are not very inclined to do so during lactation. Adapting the duration of the dry period appeared to be an acceptable way of controlling BCS during the following lactation; the modelling approach confirmed its influence on reproductive performance.

Keywords: dairy cow, reproduction, body reserves



1. Introduction

Dans un contexte où l'élevage de précision est en plein essor, les techniques d'imagerie offrent des perspectives en faveur d'un pilotage plus précis et individualisé des vaches laitières. L'hypothèse formulée est qu'à partir d'un profil individuel d'évolution de l'état corporel d'une vache, il serait possible d'appliquer des mesures correctives ou d'adapter la stratégie de conduite afin de réduire le risque d'échec à la reproduction. Le projet CowPILOT devait permettre d'éprouver cette hypothèse par (i) l'analyse des données zootechniques individuelles (reproduction, état corporel, production laitière) provenant de trois sites expérimentaux INRAE et de trois fermes expérimentales du réseau F@RM XP (Chambres d'Agriculture et Institut de l'Élevage), (ii) la mobilisation d'un simulateur informatique (InSiliCow) et (iii) la réalisation d'enquêtes auprès d'éleveurs et d'acteurs du conseil en élevage.

Le projet CowPILOT avait ainsi pour ambition de :

- Quantifier le rôle de la note d'état corporel (NEC) et de ses variations dans la prédiction des performances de reproduction,
- Évaluer les effets de différentes stratégies de pilotage de la note d'état corporel sur l'aptitude à la reproduction,
- Discuter la faisabilité et l'acceptabilité du pilotage individualisé de la NEC en élevage.

La réalisation du projet s'est appuyée sur un partenariat associant l'Institut de l'Élevage (chef de file) en collaboration avec l'École Supérieure des Agricultures (ESA, USC 1481 URSE « Unité de recherche sur les systèmes d'élevage ») et l'Institut national de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE, UMR 0085 PRC « Physiologie de la Reproduction et des Comportements », UMR 1348 PEGASE « Physiologie, environnement et génétique pour l'animal et les systèmes d'élevage », UMR 0791 MoSAR « Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants », UMR 1213 UMRH « Herbivores » et UE 0326 Domaine Expérimental du Pin).

Compte-tenu de la diversité des travaux menés dans le cadre de ce projet, cet article s'attache à décrire succinctement les matériels et méthodes utilisés, afin de privilégier la description des principaux résultats obtenus.

2. Regard des éleveurs et conseillers sur l'utilisation de la NEC au cours de la lactation pour optimiser la reproduction

2.1. Méthodes de travail utilisées

Les points de vue des éleveurs et conseillers sur l'utilisation de la NEC pour l'amélioration de la reproduction en élevage laitier ont pu être captés grâce à une approche compréhensive au moyen i) d'entretiens semi-directifs individuels (15 éleveurs et 14 conseillers) et ii) d'entretiens collectifs ou *focus group* (2 *focus group* avec au total 6 éleveurs et 2 conseillers) pour le partage d'expérience permettant de faire émerger des recommandations (Manoli *et al.*, 2022). L'objectif de ces échanges était de répondre aux questions suivantes :

- Quelles sont les pratiques de suivi de l'état corporel en élevage laitier ?
- Le suivi individuel de la NEC est-il possible ? De quelles marges de manœuvre disposent les éleveurs pour mettre en place un suivi individualisé de la NEC ?
- Quels sont les points importants à avoir en tête pour maîtriser les liens entre NEC et aptitude à la reproduction de la vache laitière ?



2.2. Résultats obtenus

2.2.1. *Dans quelles conditions la note d'état corporel peut-elle être utilisée par les éleveurs pour le pilotage individuel de la reproduction ?*

À cette question, 15 éleveurs et 14 conseillers interrogés lors d'entretiens individuels ont eu une réponse unanime : utiliser la NEC oui, mais pas comme seul indicateur. Il faudrait même plutôt dire utiliser l'état corporel et non la note d'état corporel. Pour les éleveurs, la notation individuelle par observation visuelle ou palpation prend trop de temps pour être mise en œuvre en routine. Certains éleveurs notent, mais seulement ponctuellement avec leurs conseillers. La majorité des éleveurs utilisent l'observation de l'état corporel pour anticiper les problèmes de reproduction en mettant en place une alimentation individuelle adaptée.

2.2.2. *Une diversité d'enquêtés qui font un lien entre état corporel et reproduction.*

Selon les éleveurs et les conseillers d'élevage, il est important de faire un lien entre état corporel et reproduction. Éviter les NEC trop basses (<2,5) et les NEC trop élevées (>3,5), ainsi que les variations d'état corporel trop importantes est essentiel selon eux pour assurer de bonnes performances de reproduction (reprise de cyclicité plus rapide, cyclicité normale, moins de mortalité embryonnaire...). Pour les enquêtés, la NEC peut alors être utilisée comme critère de mise à la reproduction. Les éleveurs mettent cependant un point d'attention, puisque selon eux, parfois le lien entre NEC et reproduction est à nuancer. Certaines vaches maigres n'ont pas leurs performances de reproduction dégradées.

2.2.3. *Remise en cause de l'utilisation d'un indicateur unique (la NEC) pour le pilotage de la reproduction.*

A la question « Alors peut-on et faut-il utiliser la NEC comme seul indicateur pour le pilotage de la reproduction ? », « Non » a été la réponse des éleveurs et des conseillers d'élevage. Le pilotage d'un troupeau repose sur l'analyse croisée de plusieurs indicateurs pour en tirer des conclusions. Pour la mise à la reproduction par exemple, il faut, selon eux, prendre en compte le Taux Protéique (TP) du lait, la production laitière, le nombre de jours après vêlage ou encore le bilan de reproduction, par exemple. Selon les éleveurs, il faut toujours prendre en compte plusieurs indicateurs pour prendre des décisions. Par exemple, la NEC peut aussi être utilisée comme indicateur d'alerte indiquant qu'il faut coupler son analyse à d'autres critères afin de pouvoir prendre des décisions.

2.2.4. *Alors, nous ne pouvons pas réajuster les pratiques en cours de lactation pour rattraper les dégâts ?*

Selon les enquêtés, nous pouvons, mais ce n'est pas idéal. L'anticipation permet de ne pas avoir à agir « en pompier ». Avoir une ration et une période de tarissement qui correspondent aux besoins des vaches laitières sont les solutions des éleveurs et des conseillers enquêtés pour avoir un état corporel idéal tout au long de la lactation et pour les lactations suivantes. Ces solutions permettent de ne pas avoir de répercussions sur l'état corporel et sur la reproduction des mois plus tard et ainsi améliorer les performances de reproduction. Selon les enquêtés, il est facile de dégrader l'état corporel mais très difficile de le reprendre, l'anticipation est la clé pour ne pas avoir besoin de réajuster l'état corporel en cours de lactation.

2.2.5. *Une observation de l'état corporel pour une gestion « troupeau » majoritairement privilégiée, par rapport à une gestion individuelle plus compliquée.*

En élevage, l'observation de l'état corporel se fait majoritairement à l'échelle du troupeau. Par manque de temps et pour des raisons d'organisation du travail, l'observation individuelle est compliquée à mettre en place. Ainsi, les éleveurs privilégient l'observation de l'homogénéité de l'état corporel des vaches du troupeau pour décider d'un changement de pratiques. Néanmoins, si une vache particulière s'éloigne de



la moyenne du troupeau, des actions correctives ponctuelles sont susceptibles de devoir être mises en place. C'est à nuancer avec les éleveurs qui possèdent un robot de traite : il permet d'avoir un suivi plus fin et plus individuel. Les éleveurs qui possèdent un robot pourraient alors avoir un meilleur suivi individuel de la NEC. Lors des entretiens collectifs, les éleveurs et conseillers (**Tableaux 1** et **2** respectivement) ont été interrogés sur les freins et motivations à l'utilisation d'outils numériques pour la mesure de la NEC : les éleveurs ont exprimé davantage de motivations que de freins, d'après eux le suivi individuel de la NEC serait favorisé par l'utilisation d'un outil numérique (caméra de notation automatique par exemple).

Tableau 1 : Freins et motivations à l'utilisation d'outils numériques pour la mesure de la NEC d'après les éleveurs (n=6) lors des entretiens collectifs

Motivations à l'utilisation d'outils numériques pour la mesure de NEC	Nombre d'éleveurs ayant cité l'item	Freins à l'utilisation d'outils numériques pour la mesure de NEC	Nombre d'éleveurs ayant cité l'item
Fiabilité	4	Fiabilité sur les notes extrêmes	1
Gain de temps	5	Fiabilité aujourd'hui	1
Intérêt pour voir l'évolution	4	Précision	1
Réactivité	1	Manque de valorisation	1
Précision	1	Coût	3
Individualisation du suivi facilitée	7		

Tableau 2 : Freins et motivations à l'utilisation d'outils numériques pour la mesure de la NEC d'après les conseillers (n=2) lors des entretiens collectifs.

Motivations à l'utilisation d'outils numériques pour la mesure de NEC	Nombre de conseillers ayant cité l'item	Freins à l'utilisation d'outils numériques pour la mesure de NEC	Nombre de conseillers ayant cité l'item
Individualisation du suivi	2	Fiabilité	1
Gain de temps	1	Précision	2
Fiabilité	2	Peur d'avoir trop de données/d'informations	2
Objectivité	2	Coût	2
Détection plus rapide des évolutions	1	Manque de retour	2
		Pas la priorité car l'œil de l'éleveur plus important	1

2.2.6. Alors quels leviers mettre en place pour maintenir un bon état corporel ?

Des leviers peuvent être mis en place par les éleveurs à différents moments de lactation. Pour les enquêtés, tout se joue majoritairement avant le vêlage : en fin de lactation et au tarissement. L'anticipation reste primordiale, les leviers utilisés sont alors essentiellement en fin de lactation afin d'assurer des performances qui correspondent aux objectifs de l'éleveur pour les lactations suivantes. Le levier alimentation est le plus important. Si tout le troupeau présente un problème d'état corporel, alors il faut adapter la ration de base, en concentrant la ration en énergie par exemple (ajout de maïs épis par exemple si les vaches sont maigres). Si une vache isolée présente un problème d'état corporel, les éleveurs adaptent la complémentation. Peu de leviers sont utilisables en début et milieu de lactation mis à part l'adaptation de la complémentation. L'alimentation semble le levier principal, la mise en place d'une mono-traite au cas par cas ou la modification de la durée de tarissement peuvent être envisagées en fin de lactation même s'il faut veiller à ne pas dégrader le bien-être animal et la santé.



2.3. Conclusion

D'après les enquêtes individuelles, en l'absence d'outils automatisés facilement disponibles, très peu d'éleveurs réalisent un suivi fin et individualisé de la NEC dans le but d'améliorer les performances de reproduction des vaches. Les éleveurs réalisent une observation non chiffrée le plus souvent et se fient à des repères basés sur une observation globale de l'animal (6/15 éleveurs), ou sur des repères anatomiques précis (8/15 éleveurs). Les notations précises sont uniquement utilisées par les conseillers (5/14 conseillers interviewés). Pour piloter la reproduction, les éleveurs combinent leurs estimations de l'état d'engraissement à d'autres indicateurs, car ils mettent en avant que ce n'est pas un indicateur unique de pilotage. L'évaluation de l'état corporel est un indicateur utilisé à des moments stratégiques, notamment la mise à la reproduction, mais également lors de périodes de transition alimentaire ou de tarissement. Les entretiens et les réunions collectives ont montré que les leviers correctifs pour le pilotage de la NEC sont de trois ordres :

- Des leviers à court terme pour le réajustement individuel de la ration (ajout de concentrés par exemple), pour corriger rapidement l'état d'engraissement en cours de lactation ;
- Des leviers à plus long terme, aussi de type alimentaire, mis en œuvre sur le troupeau, en vue de préparer la lactation suivante ;
- Des leviers mis en place aux deux échelles - niveau individuel à court terme et niveau troupeau pour préparer la lactation suivante (ajustement de la durée du tarissement, mono-traité temporaire en fin de lactation...).

C'est en fin de lactation que le recours à ces leviers, notamment ceux concernant l'ensemble du troupeau, est le plus accepté, car ils permettent d'anticiper et prévenir la survenue d'éventuels problèmes pour les lactations suivantes.

3. Prédiction des performances de reproduction à partir de données zootechniques individuelles provenant de 6 fermes expérimentales

3.1. Méthodes de travail utilisées

Afin d'étudier les relations entre les performances de reproduction, les profils d'évolution de l'état corporel et les données de production laitière, des données zootechniques individuelles ont été mobilisées pour des vaches de races Holstein (HO) et Normande (NO) dans 3 sites expérimentaux INRAE (Domaine du Pin, Méjusseume et Orcival), et 3 fermes du réseau F@RM XP (Blanche Maison, Trinottières et Trévarez). Seules les lactations de vaches inséminées au moins une fois et pour lesquelles nous disposions au minimum de 5 enregistrements de NEC (échelle 0-5 ; Bazin *et al.*, 1984) entre le vêlage et 210 jours de lactation ont été utilisées. À partir de 1 685 lactations de vaches de race Holstein et 482 lactations de vaches de race Normande, des profils types d'évolution de l'état corporel au cours de la lactation ont pu être mis en évidence (Dezetter *et al.*, 2022). Les relations entre ces profils de NEC et sur les performances de production laitière et de reproduction ont été étudiées à l'aide de modèles de régression linéaire ou logistique. L'effet du profil de NEC sur la reprise de cyclicité ovarienne a également pu être étudié dans une sous-population de vaches pour lesquelles un profil de progestérone (mesurée dans le lait) était disponible. Des facteurs de risque de la reproduction intra-profil de NEC ont été étudiés, de même que l'évolution du profil de NEC d'une vache entre ses lactations successives.

3.2. Résultats obtenus

3.2.1. Identification de profils d'évolution de NEC entre le vêlage et 210 jours post-partum

A partir d'une analyse en composantes principales (ACP) sur 9 variables (5 variables de NEC à stades fixes – vêlage, 28 jours, 56 jours, 98 jours et 210 jours post-partum – et 4 variables d'évolution de NEC entre ces stades), puis d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) à partir des 5 axes de l'ACP,



quatre profils ont été mis en évidence pour les vaches de race Holstein et trois profils pour celles de race Normande (**Figure 1**).

En race Holstein (**Figure 1a**), les quatre profils sont caractérisés par :

- La NEC moyenne au vêlage (= NEC_{vêl}) : de 2,60 pour les profils **NEC_{vêl}-/perte+** et **NEC_{vêl}-/perte++** ; et de 3,30 pour les profils **NEC_{vêl}+/perte+** et **NEC_{vêl}+/perte++**.
- La pente de la perte d'état corporel entre le vêlage et 56 jours post-partum (= perte) : une perte faible avec moins d'un point de NEC pour les profils **NEC_{vêl}-/perte+** et **NEC_{vêl}+/perte+** ; une perte élevée avec plus d'un point de NEC pour les profils **NEC_{vêl}-/perte++** et **NEC_{vêl}+/perte++**.

En race Normande (**Figure 1b**), les trois profils sont caractérisés par :

- Pour **NEC_{vêl}+/perte0** : une valeur de NEC stable pendant la lactation, autour de 3,55.
- Pour **NEC_{vêl}-/perte+** : une NEC faible au vêlage (autour de 2,30) et une perte modérée en début de lactation.
- Pour **NEC_{vêl}+/perte++** : une perte lente entre le vêlage (NEC de 3,44) et 98 jours post-partum (NEC de 2,68).

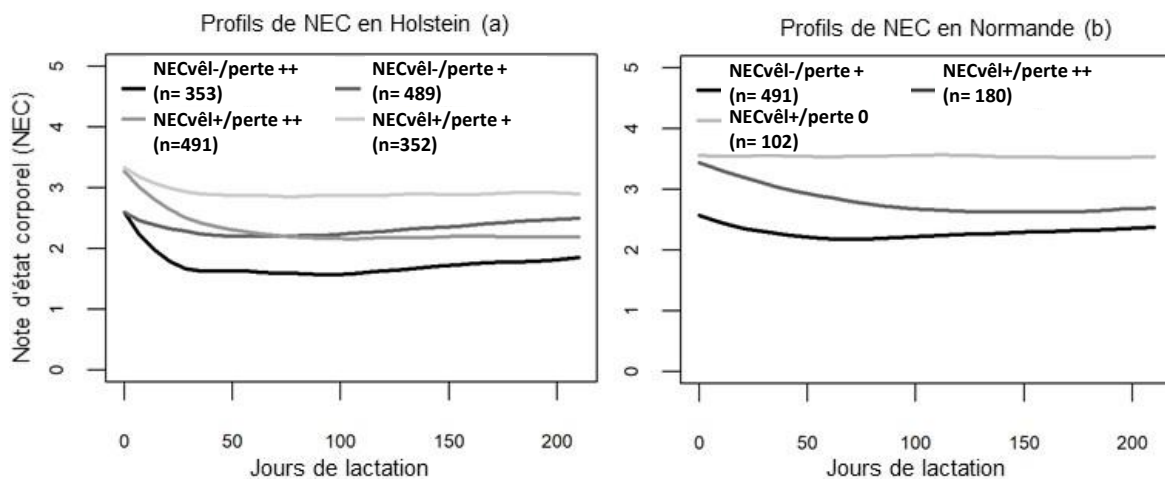


Figure 1 : Évolution de la note d'état corporel au cours de la lactation en fonction du profil de NEC dans les races Holstein (a) et Normande (b).

3.2.2. Relations entre les profils de NEC, les performances de production laitière et de reproduction des vaches

Les performances associées à chaque profil de NEC sont décrites pour les races Holstein et Normande respectivement aux **Tableaux 3** et **5** pour les performances de production laitière et aux **Tableaux 4** et **6** pour les performances de reproduction. Les performances de production laitière et de reproduction des vaches selon le profil de NEC sont exprimées en moyennes ajustées pour les variables quantitatives et en pourcentages observés + odds ratios estimés (avec intervalle de confiance à 95 %) pour les variables qualitatives binaires.



Tableau 3 : Performances de production laitière des vaches Holstein selon le profil de NEC. Sur une même ligne, des lettres différentes (^a versus ^b versus ^c) indiquent une différence significative ($P \leq 0,05$).

Holstein / Profil de NEC	NECvel -/perte++	NECvel-/perte+	NECvel+/perte++	NECvel+/perte+
Nombre de lactations	353	489	491	352
Production laitière				
Production cumulée 305 jours (kg)	7 792 ^a	7 291 ^b	7 319 ^b	6 963 ^c
Niveau de production laitière au pic (kg)	34,8 ^a	32,2 ^b	32,7 ^b	30,6 ^c
Matière utile 305 jours (kg)	548 ^a	524 ^b	520 ^b	502 ^c
Taux Matière Grasse (g/kg)	39,2 ^a	40,0 ^{ab}	39,8 ^{ab}	40,0 ^b
Taux Matière Protéique (g/kg)	31,3 ^a	32,1 ^b	31,5 ^a	32,5 ^c

Tableau 4 : Performances de reproduction des vaches Holstein selon le profil de NEC. Sur une même ligne, des lettres différentes (^a versus ^b versus ^c) indiquent une différence significative ($P \leq 0,05$).

Holstein / Profil de NEC	NECvel -/perte++	NECvel-/perte+	NECvel+/perte++	NECvel+/perte+
Nombre de lactations	353	489	491	352
Reproduction				
Intervalle vêlage – IA1 (jours)	87,2 ^b	85,3 ^{ab}	83,0 ^a	84,6 ^{ab}
Taux de revêlage à l'A1 (%)	39	38	43	41
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	<i>0,86 (0,64-1,15)</i>	<i>0,84 (0,64-1,11)</i>	<i>1</i>	<i>0,99 (0,70-1,40)</i>
Taux de revêlage (%)	68	77	71	75
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	<i>0,64 (0,46-0,90)</i>	<i>1</i>	<i>0,79 (0,57-1,09)</i>	<i>0,99 (0,70-1,40)</i>
Nombre de lactations	245	381	352	266
Intervalle vêlage-IA fécondante (jours)	100,9 ^{ab}	104,0 ^b	97,5 ^a	100,0 ^{ab}
Nombre de lactations	241	370	347	263
Intervalle vêlage-vêlage (jours)	381 ^{ab}	385 ^b	378 ^a	380 ^{ab}
Nombre de lactations	121	306	162	132
Activité ovarienne				
Reprise de cyclicité (jours)	26,8 ^b	24,8 ^b	23,6 ^{ab}	20,7 ^a
Profil de progestérone normal (%)	46	62	55	69
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	<i>0,39 (0,23-0,68)</i>	<i>0,74 (0,46-1,18)</i>	<i>0,59 (0,36-0,98)</i>	<i>1</i>
Phase lutéale prolongée (%)	18	17	18	10
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	<i>1,63 (0,77-3,46)</i>	<i>1,18 (0,60-2,31)</i>	<i>1,60 (0,79-3,2)</i>	<i>1</i>
Profil de progestérone retardé (%)	23	13	17	12
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	<i>2,68 (1,30-5,54)</i>	<i>1,54 (0,77-3,08)</i>	<i>1,41 (0,71-2,81)</i>	<i>1</i>



Tableau 5 : Performances de production laitière des vaches Normande selon le profil de NEC. Sur une même ligne, des lettres différentes (^a versus ^b) indiquent une différence significative ($P \leq 0,05$).

Normande / Profil de NEC	NECvel-/perte+	NECvel+/perte++	NECvel+/perte0
Nombre de lactations	200	180	102
Production laitière			
Production cumulée 305 jours (kg)	5 178 ^a	5 869 ^b	5 664 ^b
Niveau de production laitière au pic (kg)	24,2 ^a	28,8 ^b	26,9 ^b
Matière utile 305 jours (kg)	382 ^a	430 ^b	434 ^b
Taux Matière Grasse (g/kg)	40,6 ^a	40,6 ^a	42,0 ^b
Taux Matière Protéique (g/kg)	33,3 ^a	33,1 ^a	34,9 ^b

Tableau 6 : Performances de reproduction des vaches Normande selon le profil de NEC. Sur une même ligne, des lettres différentes (^a versus ^b) indiquent une différence significative ($P \leq 0,05$).

Normande / Profil de NEC	NECvel-/perte+	NECvel+/perte++	NECvel+/perte0
Nombre de lactations	200	180	102
Reproduction			
Intervalle vêlage – IA1 (jours)	82 ^b	72,1 ^a	71,7 ^a
Taux de revêlage à l'A1 (%)	44	46	32
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	0,90 (0,60-1,35)	1	0,55 (0,33-0,93)
Taux de revêlage (%)	72	72	64
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	1	0,97 (0,61-1,56)	0,65 (0,38-1,11)
Nombre de lactations	146	131	66
Intervalle vêlage-IA fécondante (jours)	97,3 ^b	88,2 ^a	91,9 ^{ab}
Nombre de lactations	144	130	65
Intervalle vêlage-vêlage (jours)	382 ^b	373 ^a	377 ^{ab}
Nombre de lactations	169	155	90
Activité ovarienne			
Reprise de cyclicité (jours)	27,4 ^a	28,2 ^a	29,7 ^a
Profil de progestérone normal (%)	79	72	59
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	1	0,73 (0,43-1,24)	0,41 (0,23-0,73)
Phase lutéale prolongée (%)	9	14	19
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	1	1,39 (0,68-2,85)	2,11 (0,98-4,55)
Profil de progestérone retardé (%)	7	10	13
<i>Odds Ratio (95% Intervalle de Confiance)</i>	1	1,48 (0,64-3,45)	1,92 (0,77-4,79)

3.2.3. Facteurs de risque pour l'échec de la reproduction intra-profil de NEC

Les critères zootechniques susceptibles d'expliquer le succès ou l'échec lors de la première insémination (en considérant le taux de revêlage après IA1) sont décrits respectivement pour les vaches de race Holstein (**Tableau 7**) et Normande (**Tableau 8**), en fonction du profil de NEC.



Tableau 7 : Effet des caractéristiques individuelles des vaches sur le taux de revêlage après la 1^{ère} insémination pour chaque profil de NEC, pour la race Holstein. Sur une même ligne, des lettres différentes (a versus b) indiquent une différence significative ($P \leq 0,05$).

Holstein / Revêlage après IA1	NECvel -/perte++		NECvel-/perte+		NECvel+/perte++		NECvel+/perte+	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Production cumulée 305 jours (kg)	7 671 ^a	7 868 ^a	7 171 ^a	7 373 ^a	7 232 ^a	7 387 ^a	6 721 ^a	7 143 ^b
Matière utile 305 jours (kg)	539 ^a	553 ^a	516 ^a	530 ^a	513 ^a	526 ^a	486 ^a	513 ^b
Taux Matière Grasse (g/kg)	39,1 ^a	39,3 ^a	40,0 ^a	40,0 ^a	39,7 ^a	39,9 ^a	40,1 ^a	40,3 ^a
Taux Matière Protéique (g/kg)	31,4 ^a	31,2 ^a	32,1 ^a	32,1 ^a	31,5 ^a	31,5 ^a	32,8 ^a	32,3 ^b
Intervalle vêlage – début de saison de reproduction (jours)	62,9 ^a	61,7 ^a	66,3 ^a	65,0 ^a	63,7 ^a	60,5 ^b	66,4 ^a	64,4 ^a
Intervalle vêlage – IA1 (jours)	81,2 ^a	87,4 ^b	85,4 ^a	82,3 ^{a°}	81,3 ^a	80,1 ^a	80,9 ^a	83,3 ^a
Profil de progestérone normal (%)	59 %	40 %	65 %	60 %	57 %	54 %	82 %	61 %
NEC au vêlage	2,59 ^a	2,60 ^a	2,61 ^a	2,60 ^a	3,24 ^a	3,28 ^a	3,32 ^a	3,34 ^a
NEC à l'IA1	1,64 ^a	1,58 ^a	2,28 ^a	2,23 ^b	2,21 ^a	2,21 ^a	2,89 ^a	2,84 ^a
NEC minimale	1,30 ^a	1,30 ^a	2,04 ^a	2,00 ^a	1,96 ^a	1,93 ^a	2,58 ^a	2,52 ^a
Perte maximale de NEC	-1,29 ^a	-1,30 ^a	-0,58 ^a	-0,59 ^a	-1,28 ^a	-1,35 ^b	-0,74 ^a	-0,82 ^{a°}
Jours de la NEC minimale	87,4 ^a	85,3 ^a	72,2 ^a	80,2 ^a	112 ^a	121 ^{a°}	103 ^a	102 ^a
Primipare (%)	31 %	25 %	41 %	40 %	57 %	56 %	66 %	57 %
Vêlage compliqué et/ou pathologie utérine (%)	13 %	14 %	13 %	16 %	10 %	16 % [°]	11 %	14 %
Ferme	NS		P ≤ 0,05		P ≤ 0,05		NS	

Tableau 8 : Effet des caractéristiques individuelles des vaches sur le taux de revêlage après la 1^{ère} insémination pour chaque profil de NEC, pour la race Normande. Sur une même ligne, des lettres différentes (a versus b) indiquent une différence significative ($P \leq 0,05$).

Normande / Revêlage après IA1	NECvel-/perte+		NECvel+/perte++		NECvel+/perte+	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
Production cumulée 305 jours (kg)	5 119 ^a	5 222 ^a	5 870 ^a	5 868 ^a	5 781 ^a	5 608 ^a
Matière utile 305 jours (kg)	378 ^a	384 ^a	428 ^a	432 ^a	436 ^a	432 ^a
Taux Matière Grasse (g/kg)	40,6 ^a	40,6 ^a	40,3 ^a	40,8 ^a	41,5 ^a	42,4 ^a
Taux Matière Protéique (g/kg)	33,4 ^a	33,3 ^a	33,2 ^a	33,1 ^a	34,4 ^a	35,2 ^{a°}
Intervalle vêlage – début de saison de reproduction (jours)	62,8 ^a	63,4 ^a	55,9 ^a	54,3 ^a	65,7 ^a	53,9 ^b
Intervalle vêlage – IA1 (jours)	80,6 ^a	83,7 ^a	73,1 ^a	71,2 ^a	74,9 ^a	70,1 ^a
Profil de progestérone normal (%)	88 %	73 %	78 %	67 %	64 %	56 %
NEC au vêlage	2,56 ^a	2,58 ^a	3,40 ^a	3,47 ^a	3,48 ^a	3,59 ^a
NEC à l'IA1	2,20 ^a	2,21 ^a	2,83 ^a	2,82 ^a	3,62 ^a	3,55 ^a
NEC minimale	2,01 ^a	2,04 ^a	2,50 ^a	2,47 ^a	3,24 ^a	3,24 ^a
Perte maximale de NEC	-0,54 ^a	-0,53 ^a	-0,90 ^a	-1,00 ^a	-0,24 ^a	-0,35 ^a
Jours de la NEC minimale	95,4 ^a	88,8 ^a	146 ^a	146 ^a	79,5 ^a	117 ^b
Primipare (%)	39 %	37 %	35 %	33 %	52 %	42 %
Vêlage compliqué et/ou pathologie utérine (%)	10 %	18 %	17 %	24 %	9 %	24 %
Ferme	NS		NS		NS	



3.2.4. Concordance des profils de NEC des vaches entre deux lactations successives

Pour illustrer l'évolution du profil de NEC entre les lactations successives, la méthode du diagramme de Sankey a été utilisée (**Figure 2**).

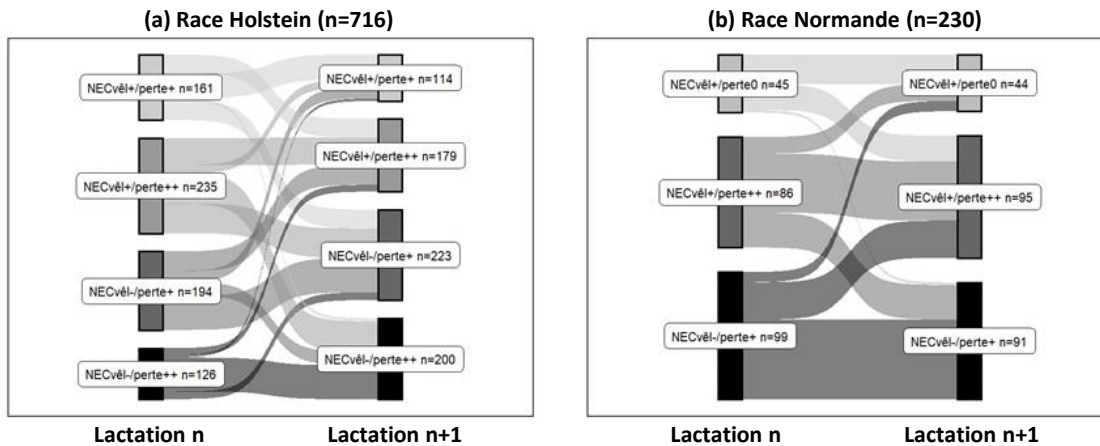


Figure 2 : Évolution du profil de NEC des vaches entre deux lactations successives, quel que soit le rang de la 1ère lactation considérée pour les vaches de race Holstein (a) et pour les vaches de race Normande (b).

Chez les vaches de race Holstein (**Figure 2a**), le degré de concordance du profil de NEC entre deux lactations successives a été de 0,22, ce qui signifie qu'un grand nombre d'individus changent de classe de profil de NEC entre deux lactations successives. Chez les vaches de race Normande (**Figure 2b**), le degré de concordance du profil de NEC entre deux lactations successives a été de 0,33.

3.3. Conclusion

Quatre profils de NEC en race Holstein et trois profils de NEC en race Normande ont été identifiés.

- **Holstein** : le profil « le plus maigre » correspond aux vaches les plus productives (+800 kg de lait en moyenne sur 44 semaines par rapport au profil des vaches ayant le meilleur état corporel). Les vaches appartenant à ce profil présentent également un risque plus élevé d'anomalies de la cyclicité post-partum et d'échecs de la reproduction.
- **Normande** : contrairement à la race Holstein, le profil « le plus maigre » correspond aux vaches les moins productives et ces vaches ont de bonnes performances de reproduction. En revanche, les vaches du profil sans perte d'état ont un risque accru de présenter une anomalie de cyclicité et d'avoir un échec de gestation après une IA.

Les quatre profils identifiés en race Holstein sont similaires aux quatre profils identifiés lors d'une étude précédente sur des vaches Holstein en troupeaux commerciaux (Ponsart *et al.*, 2006). En race Normande, l'état corporel des vaches est globalement plus élevé qu'en race Holstein et dans cette race se dégage un profil de vaches que l'on pourrait qualifier de « gras » tout au long de la lactation. L'impact du profil de variation d'état corporel au cours de la lactation sur les performances de reproduction n'a pas été le même en fonction de la race. Cependant, intra race, les différences de performances de reproduction sont faibles entre les profils. Ces résultats confirment que les réussites ou échecs reproductifs sont d'origine multifactorielle et difficilement prévisibles sur la seule base des profils de NEC. En revanche, il semble intéressant de contrôler la NEC pour améliorer les performances reproductives des vaches Holstein avec une NEC faible au vêlage et une perte de NEC élevée, ainsi que des vaches Normandes avec une NEC élevée au vêlage et pas de perte de NEC, notamment pour les orienter vers un profil de NEC moins risqué lors de la lactation suivante.



4. Validation par simulation de l'intérêt de l'adaptation de la durée du tarissement pour piloter la NEC afin d'optimiser les performances de reproduction.

4.1. Méthodes de travail utilisées

À l'aide du simulateur informatique InSiliCow, développé par INRAE (UMR MOSAR), des explorations ont été menées sur le pilotage de la NEC et sur ses effets sur les performances zootechniques des vaches à l'échelle de leur carrière. En effet, InSiliCow simule les performances productives et reproductives des vaches laitières au cours de leur carrière. À l'échelle de l'individu, le simulateur InSiliCow est basé sur un modèle des performances productives (Martin et Sauvant, 2010a et 2010b), couplé à un modèle des performances reproductives (Martin *et al.*, 2019). À l'échelle du troupeau, il intègre un modèle de système d'élevage qui définit un ensemble de règles de gestion du troupeau relatives à la génétique, à l'alimentation, à la détection des chaleurs, au tarissement, à la réforme et au renouvellement.

La calibration du simulateur et la vérification de sa capacité à reproduire des trajectoires de performances individuelles ont été réalisées à partir des données issues du domaine expérimental INRAE du Pin. Parallèlement, en lien avec les résultats issus des enquêtes et des *focus group* (cf. partie 2.), une revue de la littérature a été réalisée avec pour objectif d'établir un état des connaissances concernant les effets des pratiques de tarissement sur les performances des vaches pendant la lactation suivante. Ainsi, plusieurs scénarios intégrant différentes modalités de durée de tarissement ont été simulés afin d'évaluer les effets sur les profils de NEC et les performances de reproduction des vaches.

4.2. Résultats obtenus

4.2.1. Étude du tarissement comme un levier de pilotage de la NEC pour optimiser la reproduction

La **Figure 3** représente à partir de données issues de la littérature (Rémond *et al.*, 1997 ; Trencard, 2008), l'influence de la durée de tarissement (période sèche) sur la production laitière totale suivante a été exprimée en pourcentage du niveau « standard » correspondant à un tarissement conventionnel de 60 jours. Ainsi, réduire la durée de tarissement entraîne une réduction de la production laitière de la lactation suivante qui s'explique sur le plan physiologique par un effet négatif sur les processus de prolifération cellulaire et une moindre récupération de la fonction de lactation. Ces deux phénomènes ont été implémentés dans le simulateur afin de rendre compte de cet effet de la durée de tarissement.

Concernant l'effet de la durée de tarissement sur les performances de reproduction, l'analyse de la littérature met en évidence une tendance à la diminution de l'intervalle vêlage-vêlage de la lactation $n+1$ lorsque la durée de tarissement de la lactation n est diminuée (**Figure 3**).

4.2.2. Définition d'une règle de conduite permettant de piloter la durée du tarissement de façon individualisée dans le simulateur

Pour étudier l'effet du tarissement comme un levier possible de pilotage des performances de reproduction, nous avons imaginé une règle de conduite basée sur la définition d'une durée de tarissement individualisée (normale ou réduite) en fonction d'un délai seuil (en nombre de jours après vêlage) mis par la vache pour réussir sa reproduction. Ainsi, si une vache est gestante avant ce seuil alors sa durée de tarissement est fixée à 60 jours. En revanche, si elle est gestante après ce seuil, sa durée de tarissement est réduite à 30 jours.

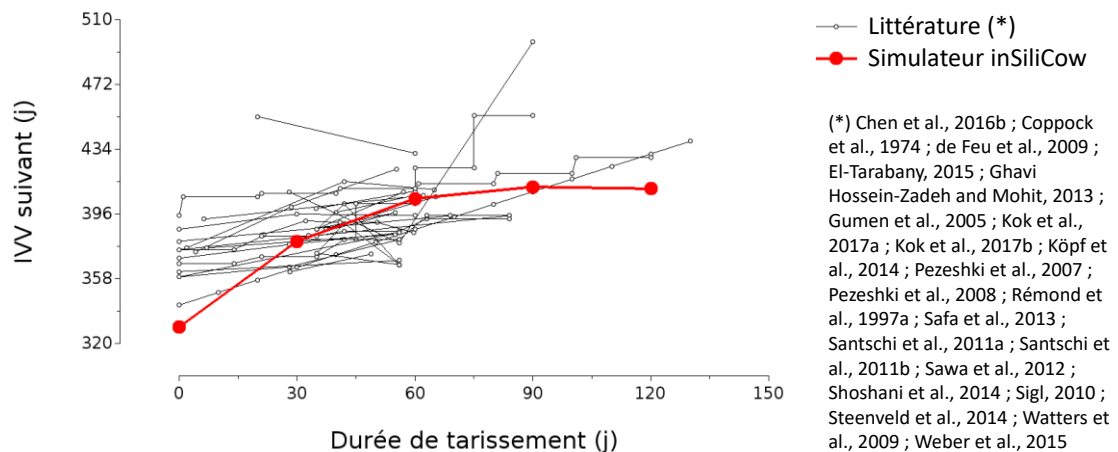


Figure 3 : Illustration de l'effet de la durée de tarissement sur l'intervalle vêlage-vêlage (IVV, en jours) de la lactation suivante (en gris les données de la littérature compilées à partir d'une vingtaine d'articles scientifiques, en rouge le comportement moyen du simulateur inSiliCow).

4.2.3. Adaptation des profils de carrière des vaches virtuelles en fonction du seuil de décision

L'évaluation du compromis entre l'amélioration des performances de reproduction grâce à la réduction de l'intervalle vêlage-vêlage et la dégradation des performances de production par la réduction de la production laitière associée à une plus courte durée de tarissement, est déterminante. Le simulateur a été utilisé pour évaluer ce compromis en réalisant une expérimentation virtuelle avec 12 groupes expérimentaux virtuels. Chaque groupe expérimental correspond à un seuil de décision relatif au délai de réussite de la reproduction après vêlage (que nous avons fait varier entre 40 et 260 jours) et intègre la simulation de 100 vaches pendant 5 lactations successives. Pour chaque simulation de chaque groupe, l'intervalle vêlage-vêlage moyen et la production laitière moyenne par lactation ont été calculés. Pour cette expérimentation virtuelle, les conditions de simulation sont définies pour se mettre en situation de « toutes choses étant égales par ailleurs ».

La production laitière totale par lactation (**Figure 4a**) et l'intervalle vêlage-vêlage (IVV, **Figure 4b**) sont décrits en fonction du seuil de décision (en nombre de jours après vêlage). Chaque box-plot résume la distribution des lactations de 100 vaches sur 5 ans. Lorsque le délai de réussite de la reproduction pour lequel on choisit de réduire la durée de tarissement diminue, il y a mécaniquement une augmentation du nombre de lactations avec un tarissement de 30 jours et une réduction de la production laitière par lactation moyenne, ainsi que de l'IVV moyen.

La **Figure 5** synthétise les effets conjoints du seuil de décision sur la production laitière par lactation et l'intervalle vêlage-vêlage, permettant d'évaluer le compromis entre les deux. Sur cette figure, la taille des ronds est fonction du pourcentage de lactations avec une durée de tarissement de 60 jours (conduite standard) ; en abscisse est représentée la perte en lait par rapport au scénario « seuil = 260 j » et en ordonnée est représentée la réduction d'IVV par rapport au scénario « seuil = 260 j ». Pour un seuil de 40 jours (valeur extrême), l'ensemble des tarissements appliqués est d'une durée de 30 jours, ce qui favorise fortement les performances de reproduction par une réduction de l'intervalle vêlage-vêlage moyen de ces vaches de plus de 22 jours, mais avec une perte laitière de presque 10 % sur 5 années. A l'inverse, les simulations avec un seuil à 260 jours n'affectent que très peu la production laitière et l'IVV car les trois-quarts des tarissements ont une durée de 60 jours. Entre ces deux situations, un compromis entre performances de reproduction et production laitière peut ainsi être trouvé en fonction des objectifs des éleveurs. Par exemple, avec un seuil de décision de 120 jours, le pourcentage de tarissements avec une durée de 30 jours est autour de 40 %, la moyenne de production laitière par lactation est réduite d'environ 6 % et l'intervalle vêlage-vêlage moyen est réduit d'environ 15 jours.

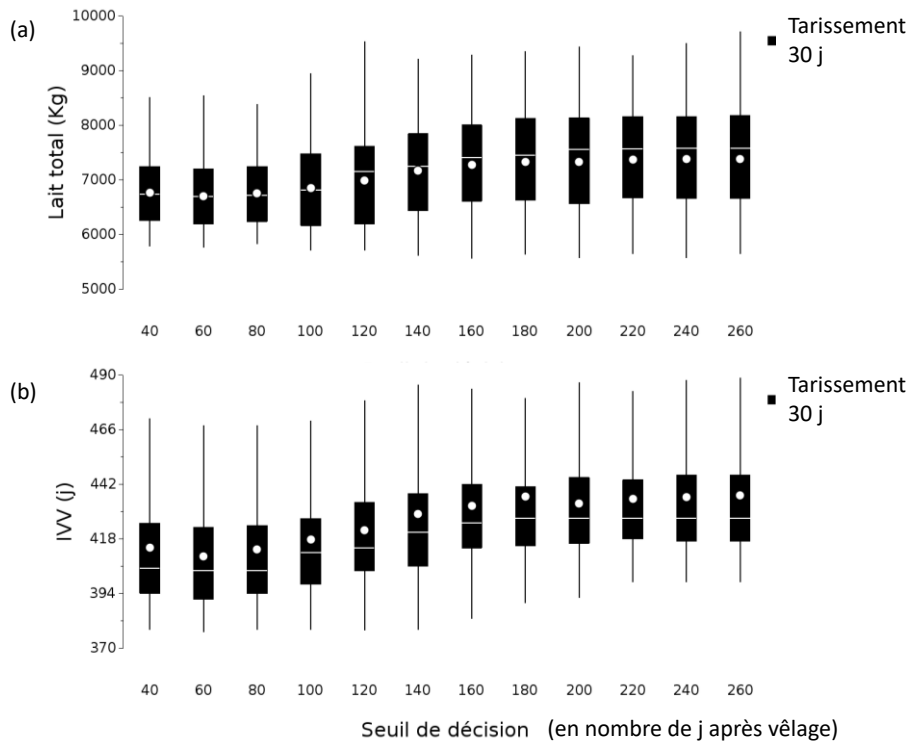


Figure 4 : Résultats de simulations illustrant l'effet de l'adaptation du seuil de décision (en nombre de jours après vêlage) sur la production laitière totale (a) et l'intervalle vêlage-vêlage (b), chaque box-plot résumant la distribution des lactations de 100 vaches virtuelles sur 5 ans.

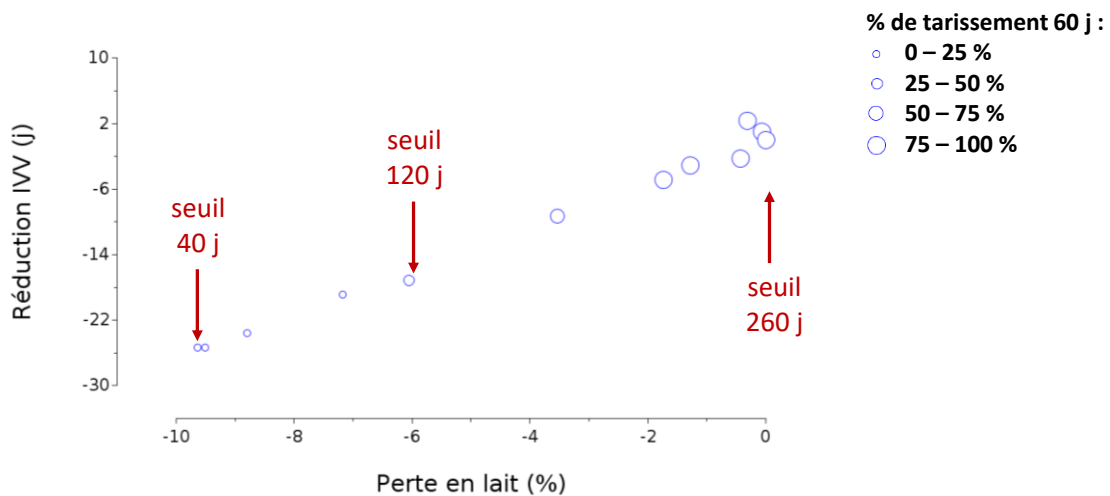


Figure 5 : Résultats de simulations illustrant les effets du seuil de décision (délai en nombre de jours après vêlage pour la réussite de la reproduction, au-delà duquel la durée de tarissement est diminuée) sur la perte de production laitière (exprimée en %), l'intervalle vêlage-vêlage (IVV, en jour) et le pourcentage de tarissement d'une durée de 60 jours (conduite standard).



4.3. Conclusion

Nous avons utilisé le simulateur InSiliCow pour tester le levier « durée de tarissement », ce qui a permis de mettre en évidence un compromis entre production laitière et intervalle vêlage-vêlage et de déterminer des ordres de grandeur pour quantifier ce compromis. Il serait nécessaire de répéter des expérimentations virtuelles en modélisant les effets d'autres pratiques d'élevage, ainsi que de mettre les résultats des simulations à l'épreuve du terrain. Ce travail (ré)-ouvre le débat sur la durée de tarissement : une durée de 60 jours semble correspondre à un optimum en termes de production, mais moduler la durée de tarissement est-elle concrètement une opportunité pour améliorer les performances reproductives ? Enfin, le simulateur InSiliCow se positionne sur un chemin vers des « jumeaux numériques » de systèmes d'élevage, ouvrant des perspectives d'exploration de scénarii de conduite. Ces approches nécessitent une confrontation permanente entre virtuel et réel avec des données de terrain pour calibrer et évaluer le simulateur et des simulations pour évaluer des options d'adaptation des pratiques.

5. Conclusion générale – Synthèse

Le projet CowPILOT avait pour objectif général d'évaluer la possibilité de piloter individuellement la note d'état corporel afin d'optimiser la réussite de la reproduction des vaches laitières.

La faisabilité de ce suivi individuel, a été questionnée auprès d'éleveurs et de conseillers, via enquêtes (entretiens semi-directifs) et des « focus groups » (partage d'expérience), qui ont permis l'identification des motivations et freins au pilotage individualisé de la NEC en élevage bovin laitier. Ainsi, les résultats ont montré que les éleveurs et techniciens de terrain connaissent la NEC, mais que son utilisation « en routine » pour gérer la reproduction reste à construire.

Le pilotage individualisé de la NEC passe par l'identification précoce après vêlage de profils d'évolution de NEC à risque pour la réussite de la reproduction. À partir de 1 685 lactations de vaches de race Holstein et 482 lactations de vaches de race Normande issues de six fermes expérimentales (INRAE et réseau F@rmXP), des profils-type individuels d'état corporel au cours de la lactation ont pu être mis en évidence, puis mis en relation avec les performances de production et de reproduction. Quatre profils de NEC en race Holstein et 3 profils en race Normande ont ainsi été identifiés. Des vaches trop maigres en race Holstein ou trop grasses en race Normande ont présenté davantage de risque d'échouer lors de la mise à la reproduction. Même si les différences ont été de faible ampleur entre les profils, confirmant que les échecs de reproduction sont d'origine multifactorielle, la NEC au vêlage et son évolution ont influencé les performances de reproduction (taux de revêlage), mais sans pouvoir expliquer l'intégralité des succès ou échecs de la reproduction. Il semblerait toutefois que d'une lactation à l'autre, le profil de NEC d'une vache puisse évoluer soit vers un profil plus à risque d'échec ou vers un profil plus favorable à la réussite de la reproduction.

À partir d'un arbre de décision construit selon les données de la littérature, éleveurs et conseillers ont échangé autour des leviers d'action potentiels pour le pilotage de la NEC, et de leur acceptabilité : selon eux, il n'est pas facile d'agir sur la NEC en cours de lactation. Le résultat n'est jamais garanti. Les éleveurs y sont peu enclins. L'adaptation des durées de tarissement est apparue comme l'un des leviers acceptables pour piloter la NEC lors de la lactation suivante.

L'approche par modélisation a permis de tester ce levier de la durée de tarissement, sans bouleversement du système de production, pour influencer le profil de NEC sur la lactation suivante. Les résultats de simulation ont montré qu'une gestion individualisée du tarissement influence les performances de reproduction, (ré)-ouvrant ainsi le débat autour de la durée de tarissement optimal.

**Pour en savoir plus sur le projet :**

Bidan F., Dezetter C., Martin O., Manoli C., Delaby L., Fagon J., Blanc F., Lamarre M., Ben-Abdelkrim A., Petit T., Bédère N., Fréret S., 2022. CowPILOT - PILOTer la note d'état corporel pour OpTimiser la reproduction des vaches laitières. Compte rendu-final 01/2019 - 06/2022 (financement CASDAR). Collection Résultats. <https://idele.fr/detail-article/cowpilot-piloter-la-note-detat-corporel-pour-optimiser-la-reproduction-des-vaches-laitieres>

Éthique

Les auteurs déclarent que les expérimentations ont été réalisées en conformité avec les réglementations nationales applicables.

Déclaration sur la disponibilité des données et des modèles

Les données utilisées dans l'action 1 de ce projet appartiennent aux fermes expérimentales (INRAE et réseau F@rmXP) qui les ont fournies, elles ne sont pas déposées dans un entrepôt de données et ne sont pas librement accessibles. Le code informatique du simulateur inSiliCow utilisé dans l'action 3 de ce projet est la propriété d'INRAE. Ce code est soumis à des restrictions d'utilisation et n'est pas librement utilisable.

Déclaration relative à l'Intelligence artificielle générative et aux technologies assistées par l'Intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

Les auteurs n'ont pas utilisé de technologies assistées par intelligence artificielle dans le processus de rédaction.

ORCID des auteurs

Fabrice BIDAN : <https://orcid.org/0009-0002-0553-8822>

Sandrine FRERET : <https://orcid.org/0000-0002-3179-0506>

Charlotte DEZETTER : <https://orcid.org/0000-0002-9044-8719>

Contribution des auteurs :

Tous les auteurs et autrices ont lu et approuvé le manuscrit final.

Déclaration d'intérêt

Les auteurs déclarent ne pas travailler, ne conseiller, ne pas posséder de parts, ne pas recevoir pas de fonds d'une organisation qui pourrait tirer profit de cet article, et ne déclarent aucune autre affiliation que celles citées en début d'article.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel des fermes expérimentales (INRAE et réseau F@rmXP) pour la collecte des données, ainsi que P. Faverdin (INRAE UMR PEGASE) et D. Pomiès (INRAE UMR Herbivores) pour l'accès aux données de la ferme de Méjusseume et de la ferme d'Orcival.

Ils remercient également les éleveurs qui ont participé aux entretiens et réunions collectives, les organismes de contrôle de performances qui ont accompagné dans l'organisation des focus groups (Littoral Normand et Conseil élevage 25-90) ainsi que les stagiaires qui ont contribué aux travaux.

Déclaration de soutien financier

Projet COWPILOT financé par le Ministère en charge de l'Agriculture (AAP CASDAR RT 2018, appel à projet Compte d'Affectation Spécial Développement Agricole et rural Recherche Technologique 2018).



Références bibliographiques :

- Bazin S., Augeard P., Carteau M., Champion H., Chilliard Y., Cuyllé G., Disenhaus C., Durand G., Espinasse R., Gascoïn A., Godineau M., Jouanne D., Ollivier O., Remond B., 1984. Grille de notation de l'état d'engraissement des vaches pie-noires, RNED bovin. ed.
- Chen J., Kok A., Rummelink G.J., Gross J.J., Bruckmaier R.M., Kemp B., van Knegsel A.T.M., 2016. Effects of dry period length and dietary energy source on lactation curve characteristics over 2 subsequent lactations. *Journal of Dairy Science* 99,9287-9299.
- Coppock C.E., Everett R.W., Natzke R.P., Ainslie H.R., 1974. Effect of Dry Period Length on Holstein Milk Production and Selected Disorders at Parturition. *Journal of Dairy Science* 57, 712-718.
- de Feu M.A., Evans A.C., Lonergan P., Butler S.T., 2009. The effect of dry period duration and dietary energy density on milk production, bioenergetic status, and postpartum ovarian function in Holstein-Friesian dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92, 6011-6022.
- Dezetter C., Bidan F., Delaby L. Fréret S., Bedere N., 2022. Existe-t-il un profil d'état corporel optimal favorable à la reproduction des vaches laitières ? *Rencontres Recherches Ruminants* 26, 355-359. <http://journées3r.fr/spip.php?article5159>
- El-Tarabany M.S., 2015. Effects of non-lactating period length on the subsequent calving ease and reproductive performance of Holstein, Brown Swiss and the crosses. *Animal Reproduction Science* 15, 60-67.
- Ghavi Hossein-Zadeh N., Mohit A., 2013. Effect of dry period length on the subsequent production and reproduction in Holstein cows. *Spanish Journal of Agricultural Research* 11, 100-108.
- Gümen A., Rastani R.R., Grummer R.R., Wiltbank M.C., 2005. Reduced Dry Periods and Varying Prepartum Diets Alter Postpartum Ovulation and Reproductive Measures. *Journal of Dairy Science* 88, 2401-2411.
- Kok A., van Knegsel A.T.M., van Middelaar C.E., Engel B., Hogeveen H., Kemp B., de Boer I.J.M., 2017a. Effect of dry period length on milk yield over multiple lactations. *Journal of Dairy Science* 100,739-749.
- Kok A., van Middelaar C.E., Mostert P.F., van Knegsel A.T.M., Kemp B., de Boer I.J.M., Hogeveen H., 2017b. Effects of dry period length on production, cash flows and greenhouse gas emissions of the dairy herd: A dynamic stochastic simulation model. *PLoS ONE* 12, e0187101.
- Köpf M., Gellrich K., Küchenhoff H., Meyer H.H.D., Kliem H., 2014. Effects of continuous milking during a field trial on productivity, milk protein yield and health in dairy cows. *Animal* 8,1130-1138.
- Manoli C., Lamarre M., Petit T., Martin O., Fréret S., Fagon J., 2022. Quelle utilisation de la Notation d'État Corporel (NEC) par les éleveurs pour piloter la reproduction des vaches laitières ? *Rencontres Recherches Ruminants* 26, 393. <http://journées3r.fr/spip.php?article5051>
- Martin O., Blavy P., Derks M., Friggens N.C., Blanc F., 2019. Coupling a reproductive function model to a productive function model to simulate lifetime performance in dairy cows. *Animal*, Mar 13(3), 570-579. doi: 10.1017/S1751731118001830.
- Martin O., Sauvant D., 2010a. A teleonomic model describing performance (body, milk and intake) during growth and over repeated reproductive cycles throughout the lifespan of dairy cattle. 1. Trajectories of life function priorities and genetic scaling. *Animal* 4(12), 2030-47. doi: 10.1017/S1751731110001357.
- Martin O., Sauvant D., 2010b. A teleonomic model describing performance (body, milk and intake) during growth and over repeated reproductive cycles throughout the lifespan of dairy cattle. 2. Voluntary intake and energy partitioning. *Animal* 4(12), 2048-56. doi: 10.1017/S1751731110001369.
- Pezeshki A., Mehrzad J., Ghorbani G.R., de Spiegeleer B., Collier R.J., Burvenich C., 2008. The effect of dry period length reduction to 28 days on the performance of multiparous dairy cows in the subsequent lactation. *Canadian Journal of Animal Science* 88,449-456.
- Pezeshki A., Mehrzad J., Ghorbani G.R., Rahmani H.R., Collier R.J., Burvenich C., 2007. Effects of short dry periods on performance and metabolic status in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 90,5531-5541.



Ponsart C., Léger T., Dubois P., Charbonnier G., Fréret S., Humblot P., 2006. Identification de profils de note d'état caractérisant des primipares et des multipares de race Prim'Holstein et relations avec le délai de mise à la reproduction. *Rencontres Recherches Ruminants* 13, 288. <https://www.journees3r.fr/spip.php?article1522>

Rémond B., Kérouanton J., Brocard, V., 1997. Effets de la réduction de la durée de la période sèche ou de son omission sur les performances des vaches laitières. *INRA Productions Animales* 10 (4), 301-315. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1997.10.4.4004>

Safa S., Soleimani A., Heravi Moussavi A., 2013. Improving Productive and Reproductive Performance of Holstein Dairy Cows through Dry Period Management. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 26,630-637.

Santschi D.E., Lefebvre D.M., Cue R.I., Girard C.L., Pellerin D., 2011a. Complete-lactation milk and component yields following a short (35-d) or a conventional (60-d) dry period management strategy in commercial Holstein herds. *Journal of Dairy Science* 94, 2302-2311.

Santschi D.E., Lefebvre D.M., Cue R.I., Girard C.L., Pellerin D., 2011b. Economic effect of short (35-d) compared with conventional (60-d) dry period management in commercial Canadian Holstein herds. *Journal of Dairy Science* 94,4734-4743.

Sawa A., Bogucki M., Neja W., 2012. Dry period length and performance of cows in the subsequent production cycle. *Archives Animal Breeding* 55,140-147.

Shoshani E., Rozen S., Doekes J.J., 2014. Effect of a short dry period on milk yield and content, colostrum quality, fertility, and metabolic status of Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 97, 2909-2922.

Sigl G., 2011. Effects of continuous milking during the dry period or once daily milking in the first four weeks of lactation on metabolism and productivity of dairy cows. München, Technische Universität, Dissertation.

Steenefeld W., van Knegsel A.T., Rummelink G.J., Kemp B., Vernooij J.C., Hogeveen H., 2014. Cow characteristics and their association with production performance with different dry period lengths. *Journal of Dairy Science* 97, 4922-4931.

Trencart L., 2008. Quantification des effets zootechniques associés au raccourcissement de la période sèche chez la vache laitière. Thèse de Doctorat Vétérinaire, École Nationale Vétérinaire de Nantes, France. 134p.

Watters R.D., Wiltbank M.C., Guenther J.N., Brickner A.E., Rastani R.R., Fricke P.M., Grummer R.R., 2009. Effect of dry period length on reproduction during the subsequent lactation. *Journal of Dairy Science* 92, 3081-3090.

Weber C., Losand B., Tuchscherer A., Rehbock F., Blum E., Yang W., Bruckmaier R.M., Sanftleben P., Hammon H.M., 2015. Effects of dry period length on milk production, body condition, metabolites, and hepatic glucose metabolism in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98, 1772-1785.



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

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* et son DOI, la date de publication.