



HAL
open science

Sensibilité de la reproduction des vaches allaitantes à la dynamique des lipides corporels : une approche par modélisation

Emilie Recoules, Jacques Agabriel, Nicolas N.C. Friggens, Olivier Martin,
Anne de La Torre Capitan, Fabienne Blanc

► To cite this version:

Emilie Recoules, Jacques Agabriel, Nicolas N.C. Friggens, Olivier Martin, Anne de La Torre Capitan, et al.. Sensibilité de la reproduction des vaches allaitantes à la dynamique des lipides corporels : une approche par modélisation. 21. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Dec 2014, Paris, France. 4 p. hal-01173667

HAL Id: hal-01173667

<https://hal.science/hal-01173667>

Submitted on 2 Jun 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.

Sensibilité de la reproduction des vaches allaitantes à la dynamique des lipides corporels : une approche par modélisation

RECOULES E. (1,2), AGABRIEL J. (1,2), FRIGGENS N.C. (3,4), MARTIN O. (3,4), DE LA TORRE A. (1,2), BLANC F. (2, 1)

(1) INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint Genès Champanelle, France

(2) Clermont Université, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

(3) INRA, UMR791 MoSAR, F-75231 Paris, France

(4) AgroParisTech, UMR 791, MoSAR, F-75231 Paris, France

RESUME – Les systèmes bovins allaitants reposent sur une valorisation optimale des ressources herbagères. Les contextes économique et climatique actuels augmentent le risque de périodes de sous-alimentation pouvant intervenir à n'importe quel moment du cycle de production des femelles reproductrices. Une telle variabilité de l'environnement nutritionnel peut avoir des conséquences sur la dynamique des réserves lipidiques des femelles et sur leur capacité à se reproduire régulièrement. Les échecs de reproduction ont des conséquences directes sur la carrière reproductive des vaches (réforme des femelles vides) ainsi que sur la productivité du troupeau. Afin d'explorer les conséquences d'environnements nutritionnels changeants sur la performance de reproduction des vaches et leur longévité, le modèle individu centré Bresnus (Bovine REproduction Sensitivity to NUtritional trajectorieS), a été développé à l'échelle de la carrière de l'animal. Ce modèle est structuré en trois composantes : i) un modèle des trajectoires nutritionnelles, ii) un modèle de la performance de reproduction et iii) un modèle des interrelations entre dynamique des lipides et performance de reproduction. Ces modèles empiriques ont été construits à partir de représentations conceptuelles existantes et ont été ajustés à l'aide de données expérimentales obtenues sur des vaches de race Charolaise. Le modèle Bresnus permet ainsi d'étudier les conséquences sur la performance de reproduction d'épisodes de sous-alimentations variant selon leur durée, leur intensité, leur occurrence et leur fréquence. Les simulations montrent qu'une sous-alimentation aura des effets différents sur la performance de reproduction selon le moment du cycle de production auquel elle intervient et selon son profil (durée x intensité). Au niveau du troupeau, le modèle permet d'étudier la stabilité (robustesse) de la productivité du troupeau sur le long terme selon sa composition (diversité des sensibilités individuelles à la sous-alimentation) et l'étalement des stades physiologiques entre individus (vêlages groupés vs. étalés).

Sensitivity of beef cow reproduction to body lipid dynamics: a modeling approach

RECOULES E. (1,2), AGABRIEL J. (1,2), FRIGGENS N.C. (3,4), MARTIN O. (3,4), DE LA TORRE A. (1,2), BLANC F. (2, 1)

(1) INRA, UMR1213 Herbivores, F-63122 Saint Genès Champanelle, France

(2) Clermont Université, VetAgro Sup, UMR1213 Herbivores, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France

SUMMARY – Beef production relies on forage resources. Economic and environmental hazards tend to increase the variability of food availability and quality around the year. Herd productivity is based on the ability of females to reproduce regularly and this may be affected by body reserves and body reserve changes. An individual based model (Bresnus: Bovine REproduction Sensitivity to NUtritional trajectorieS) has been developed to represent the sensitivity of beef cow reproduction to nutritional trajectories over the career of the female. This model is made of three sub-models i) a model of nutritional trajectories, ii) a model of the reproductive performance and iii) a model of their interrelations. Experimental data from Charolais cows were used to adjust empirical equations to test the effect of a nutritional challenge to key components of reproductive performance (calving to resumption of luteal activity interval, estrus expression, probability of conception). Effects of a nutritional constraint on the reproductive performance are different according to the period of occurrence of the constraint and the type of constraint (intensity and duration). At the herd level, the Bresnus model allows studying the robustness of herd productivity according to the ability of cows to recover body reserves after a constraint (similar or varying abilities) and the type of calving management (grouped vs. spread calving).

INTRODUCTION

Les systèmes d'élevages allaitants sont majoritairement des systèmes herbagers qui cherchent à maximiser l'utilisation de l'herbe. Les recommandations alimentaires INRA pour l'alimentation des vaches allaitantes intègrent les variations saisonnières de la disponibilité des ressources alimentaires et s'appuient sur la capacité des vaches à mobiliser leurs réserves lipidiques. Les contextes économique et climatique à venir augmentent l'incertitude sur la disponibilité et la qualité des ressources alimentaires pour les ruminants (Åby *et al.*, 2012), de sorte que les périodes de restriction nutritionnelle risquent d'être plus fréquentes, plus intenses et

de survenir à tout moment du cycle de production. Or, plusieurs travaux ont montré que de faibles états corporels au vêlage pénalisent la fertilité des vaches allaitantes (délai de reprise de cyclicité post-partum, allongement des intervalles vêlage-vêlage et diminution du taux de gestation (Agabriel *et al.*, 1992, Osoro et Wright, 1992, Recoules *et al.*, 2013). Outre cet effet du niveau des réserves lipidiques, quelques auteurs ont également mis en évidence une influence de la variation postpartum de ces réserves sur certaines composantes de la reproduction, telles que le taux de retour de cyclicité après vêlage (Richards *et al.*, 1986) ou l'expression de l'œstrus (Recoules *et al.*, 2014). Dans un contexte nutritionnel fluctuant, les réserves lipidiques servent

de levier d'adaptation. Or, compte tenu des relations qui existent entre la dynamique des réserves lipidiques et la capacité des vaches à enchaîner des cycles de production la question se pose des effets de perturbations nutritionnelles imprévues sur leur carrière reproductive et la robustesse du troupeau. Les approches expérimentales qui ont été développées jusqu'à présent chez la vache allaitante pour apprécier de tels effets sont peu nombreuses et considèrent le plus souvent des sous-alimentations postpartum, d'intensités et de durées « raisonnées » (Blanc *et al.*, 2010). Afin d'explorer les effets d'une gamme plus large (occurrence, durée, intensité, fréquence) de perturbations nutritionnelles sur les performances de reproduction des vaches, leur longévité et la robustesse du troupeau, nous avons développé un modèle nommé Bresnus (Bovine REproduction Sensitivity to NUtritional trajectorieS) qui représente les relations entre trajectoires des lipides corporels et performance de reproduction.

1. BASES CONCEPTUELLES DU MODELE BRESNUS

Le modèle Bresnus résulte de l'intégration de trois sous modèles : i) un modèle des trajectoires nutritionnelles, ii) un modèle du processus d'élaboration de la performance de reproduction et iii) un modèle des interrelations entre trajectoires nutritionnelles et reproduction.

1.1. MODELISATION DES TRAJECTOIRES NUTRITIONNELLES

Le concept de trajectoire nutritionnelle a été décrit par Friggens *et al.* (2013) et rend compte de la dynamique des réserves lipidiques d'une femelle reproductrice. Une première trajectoire correspond à la dynamique des lipides corporels lorsque l'environnement nutritionnel n'est pas limitant. Cette trajectoire, dite de référence, reflète les variations des lipides corporels associées à l'âge de l'animal et à son statut physiologique (dynamiques d'homéorhèse). Une seconde trajectoire, qui se substitue temporairement à la précédente, représente les déviations de la trajectoire de référence lorsque l'animal est soumis à un environnement nutritionnel changeant (épisode de sous-alimentation par exemple). Ces déviations rendent compte de processus d'adaptation au contexte nutritionnel (mécanismes d'homéostasie) qui permettent d'une part l'adaptation à la contrainte nutritionnelle puis le retour vers un état d'équilibre à la fin de la contrainte nutritionnelle (Martin et Sauvant, 2010). La trajectoire de déviation des lipides corporels en réponse à un environnement nutritionnel contraignant et le retour vers la trajectoire de référence constituent une trajectoire adaptative. Bresnus décrit la trajectoire nutritionnelle de référence comme une combinaison de deux composantes. La première, représentée à l'aide d'un modèle de Gompertz, représente l'évolution des lipides corporels d'une vache à l'entretien dont la dynamique dépend uniquement de l'âge de l'animal. La seconde correspond aux oscillations autour de cette dynamique d'entretien qui débutent à partir de la première fécondation et qui représentent les dynamiques de reconstitution puis de mobilisation des réserves lipidiques associées à l'enchaînement des états reproductifs qui dépend du succès de la reproduction (Friggens *et al.*, 2013). La fécondation oriente en effet la trajectoire de référence vers une dynamique d'accroissement des réserves lipidiques. La mobilisation des réserves s'enclenche en fin de gestation pour supporter l'accroissement des besoins lié à la croissance du fœtus alors que la capacité d'ingestion devient limitante. Ces oscillations ont été formalisées à l'aide de fonctions de Hill (sigmoïdes) qui permettent aux quantités de lipides de tendre vers des valeurs cibles minimale en lactation et maximale en gestation (Figure 1).

La trajectoire adaptative qui représente l'élasticité des réserves lipidiques en réponse à des environnements

nutritionnels contraignants a été modélisée à l'aide de fonctions monomoléculaires qui permettent de décrire une dynamique de mobilisation ou de reconstitution en fonction de l'importance de l'écart entre trajectoire de référence et trajectoire adaptative à chaque instant. Les paramètres de ces fonctions permettent également d'inclure des différences d'aptitudes entre individus à mobiliser et reconstituer les réserves lipidiques (Figure 2).

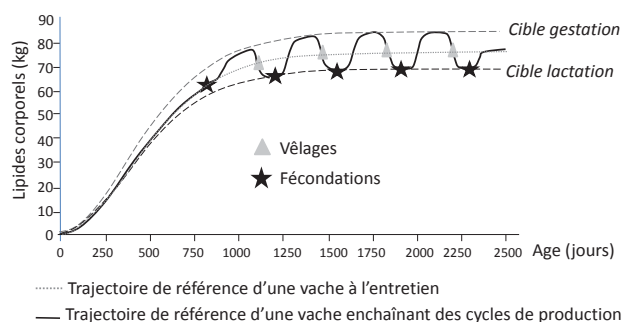


Figure 1 : Modèle de trajectoire nutritionnelle de référence d'une vache charolaise

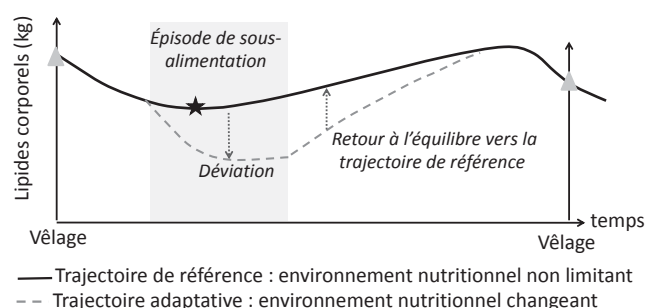


Figure 2 : Représentation conceptuelle de la trajectoire adaptative

1.2. PERFORMANCE DE REPRODUCTION

Le modèle d'élaboration de la performance de reproduction incorporé dans Bresnus s'appuie sur celui précédemment décrit par Blanc et Agabriel (2008). Le modèle représente un enchaînement d'états reproductifs successifs (non cyclique, cyclique, gestante). La performance de reproduction peut être appréhendée au travers de différentes variables qui décomposent le processus de reproduction : intervalles vêlage-reprise de cyclicité (IVC), vêlage-fécondation (IVF), vêlage-vêlage (IVV), réussite ou échec de la fécondation. Dans cette approche de modélisation, le passage d'un état reproductif au suivant dépend de la réalisation d'événements tels que le vêlage, la reprise de cyclicité post-partum, les œstrus et ovulations et la fécondation. Nous faisons l'hypothèse que la performance de reproduction d'une vache qui suit sa trajectoire de référence est optimale (Friggens *et al.*, 2013). Lorsque la vache est soumise à une ou plusieurs périodes de contraintes nutritionnelles, les déviations de la trajectoire nutritionnelle de référence sont susceptibles d'impacter une ou plusieurs composantes de la performance de reproduction et d'induire des réponses de type « délai » (allongement des intervalles entre les états reproductifs successifs) ou de type « échec » (non gestation).

1.3. REPRESENTATION DES INTERRELATIONS NUTRITION x REPRODUCTION

De manière générale, la déviation de la trajectoire de référence induite par un environnement nutritionnel limitant va impacter plus ou moins fortement certaines composantes de la performance de reproduction. Sur le plan conceptuel, la représentation des interrelations entre lipides corporels et reproduction est basée sur le modèle théorique proposé par

Friggens (2003). L'impact d'une déviation des lipides corporels sur les composantes de la reproduction est représenté par une fonction sigmoïde qui rend compte d'un effet nul, croissant puis maximal sur la composante de la reproduction considérée parallèlement à l'augmentation des écarts entre trajectoires de référence et adaptative (Figure 3).

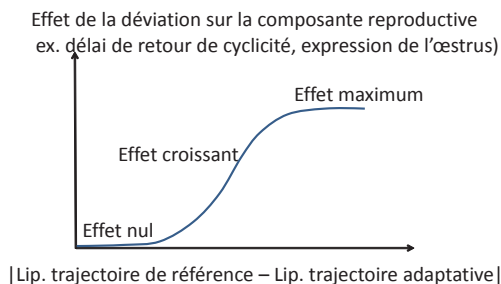


Figure 3 : Représentation conceptuelle de l'effet d'une déviation de la trajectoire des lipides (écart entre la trajectoire de référence et la trajectoire adaptative) sur un critère de performance de reproduction.

2. AJUSTEMENT DU MODELE BRESNUS

2.1. DONNEES MOBILISEES POUR DEFINIR LA TRAJECTOIRE DE REFERENCE

La trajectoire nutritionnelle de référence et la performance de reproduction associée ont été ajustées à partir de données acquises dans un environnement nutritionnel non contraignant, stable et maîtrisé sur plusieurs lactations issues de l'unité expérimentale de Bourges. Elles concernent des vaches Charolaises (n=72) suivies sur 3 ou 4 lactations successives. Afin de représenter la trajectoire de référence nous avons retenu uniquement les vaches (n=17) pour lesquelles suffisamment de mesures de poids et d'états corporels étaient disponibles sur leur phase de croissance puis sur 3 lactations successives afin de pouvoir estimer assez précisément l'évolution des lipides corporels sur l'ensemble de leur carrière. Pour chaque vache, les réserves lipidiques ont été estimées en utilisant le modèle de Robelin et Daenicke (1980) pour la phase de croissance et celui de Garcia et Agabriel (2008) pour les différentes lactations. Sur ces 17 vaches, la mobilisation des réserves lipidiques commence 90 jours avant le vêlage et l'amplitude moyenne de variation des réserves entre la gestation et la lactation est de 15 kg. L'IVC est de 74 ± 15 j pour les primipares (PP) et de 52 ± 16 j pour les multipares (MP). Les caractéristiques de l'œstrus (durée et intensité) ont été définies à partir des résultats rapportés précédemment par Blanc *et al.* (2010).

2.2. LOIS DE REPONSES EN SITUATION DE SOUS-ALIMENTATION

Afin de quantifier l'effet d'une contrainte nutritionnelle sur la performance de reproduction, deux études expérimentales (2009-2010) ont été réalisées sur des vaches Charolaises (UEMA, Laqueuille). En 2009, 14 PP et 14 MP avec une note d'état corporel au vêlage de $2,4 \pm 0,05$ (PP) et $2,5 \pm 0,3$ (MP) ont été soumises à des régimes Haut (besoins+2UF) ou Bas (besoins-3UF) du vêlage à la mise à l'herbe (128 ± 12 j postpartum). En 2010, 16 PP ont subi une restriction nutritionnelle prepartum pour avoir une note d'état corporel au vêlage de $2,0 \pm 0,08$ et ont ensuite reçu les mêmes régimes Haut ou Bas jusqu'à la mise à l'herbe (129 ± 10 j postpartum). Les données obtenues (Recoules *et al.*, 2013) ont permis de décrire la relation entre l'IVC et la quantité de lipides au vêlage (en proportion du poids vif vide au vêlage) et de l'ajuster avec une fonction exponentielle décroissante. Les relations entre le comportement d'œstrus (durée et intensité) et la variation de lipides sur les 30 premiers jours postpartum (en proportion de la quantité de lipides au vêlage) ont été formalisées par des fonctions de Hill. Ces lois de

réponse ont été recalées par rapport aux valeurs moyennes observées sur les données de Bourges (situation de référence) afin de quantifier l'effet des écarts entre trajectoire de référence et trajectoire adaptative sur l'IVC, la durée et l'intensité de l'expression de l'œstrus. Dans le modèle Bresnus la probabilité de fécondation dépend de l'IVC et de l'expression de l'œstrus et répond donc indirectement aux déviations de la trajectoire de référence.

2.2. CONSTRUCTION INFORMATIQUE

Le modèle est un modèle individu centré et a été développé avec le logiciel « Model Maker ». Les épisodes de contraintes nutritionnelles sont définis en début de simulation à l'aide de paramètres qui permettent de définir les temps de début et de fin des contraintes et leur intensité (unité arbitraire). Le modèle permet ainsi de simuler plusieurs épisodes de sous-alimentation et/ou suralimentation.

3. EFFETS D'UN ENVIRONNEMENT NUTRITIONNEL CHANGEANT SUR LA PERFORMANCE DE REPRODUCTION DES VACHES ET LA ROBUSTESSE DU TROUPEAU

3.1. LA DYNAMIQUE DE LA TRAJECTOIRE ADAPTATIVE DEPEND DU MOMENT OÙ SE PRODUIT LA PERTURBATION NUTRITIONNELLE

Une sous-alimentation de 90 j a été simulée sur le premier ou le dernier tiers de gestation. Dans le premier cas, la sous-alimentation intervient alors que la trajectoire de référence est sur une dynamique de reconstitution des réserves lipidiques. La déviation est de -15 kg de lipides en fin de contrainte nutritionnelle et l'effet sur la performance de reproduction de la lactation suivante est relativement faible (+9 j sur l'IVF) car la trajectoire adaptative a quasiment pu rejoindre la trajectoire de référence au moment du vêlage (Figure 4a). Lorsque cette même sous-alimentation a lieu en fin de gestation, la trajectoire de référence est sur une dynamique de mobilisation des réserves, la déviation de lipides est donc plus importante (-20 kg) et les conséquences sur la performance de reproduction du cycle suivant sont plus importantes (+73 j pour l'IVF ; Figure 4b).

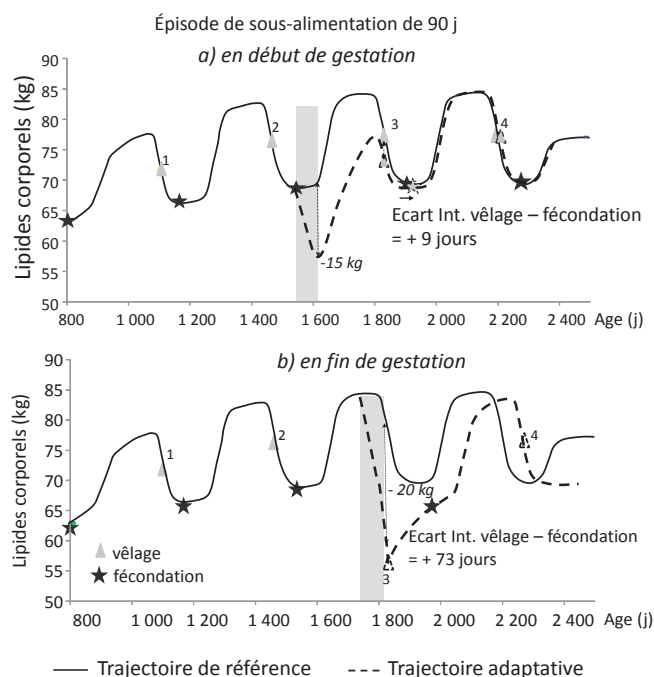


Figure 4 : Effet du moment de la contrainte nutritionnelle (a : début de gestation et b : fin de gestation) sur la déviation de la trajectoire des lipides et les conséquences sur l'intervalle vêlage-fécondation (IVF) du cycle reproductif suivant.

3.2. LA ROBUSTESSE DU TROUPEAU REPOSE SUR L'HETEROGENEITE DES STADES PHYSIOLOGIQUES ET LA DIVERSITE DES APTITUDES DES VACHES A RECONSTITUER LEURS RESERVES LIPIDIQUES

Les performances de reproduction de troupeaux de 88 vaches (25 PP, 63 MP) conduits en vèlages groupés (VG, vèlages sur 60 j) ou en vèlages étalés (VE, vèlages sur 300 j) ont été simulées. Ces troupeaux différaient également par leur composition en individus plus ou moins aptes à reconstituer leurs réserves corporelles à la fin d'une période de sous-alimentation : aptitude élevée (H), moyenne (M) ou faible (B). Trois troupeaux de même effectif étaient composés de 100% de vaches H (H100), M (M100) ou B (B100). Deux troupeaux mixtes étaient composés de vaches ayant des aptitudes différentes à reconstituer leur réserves lipidiques : HB50 (50% de vaches H et de vaches B) et HMB33 (33% de vaches H, M et B). Une sous-alimentation de 90 j réalisée à une date calendaire fixe a été simulée pour ces 5 troupeaux, soit en système VG, soit en système VE. Leur robustesse en situation de contrainte nutritionnelle a été évaluée en écart de performances reproductives par rapport aux performances obtenues dans la situation de référence (environnement nutritionnel non limitant). Cet écart de performance a été calculé pour les deux cycles reproductifs suivant la contrainte nutritionnelle. Dans cette étude, aucune date limite de fin de période de reproduction n'a été imposée de façon à analyser l'évolution du taux de vaches gestantes après vèlage.

3.2.1. Les troupeaux en vèlages étalés sont en moyenne plus robustes

L'étalement des vèlages semble limiter l'impact d'une contrainte nutritionnelle sur la performance de reproduction moyenne du troupeau, ceci quelle que soit la composition du troupeau en termes d'aptitude des vaches à reconstituer leurs réserves corporelles après un épisode de sous-alimentation (Tableau 1).

Tableau 1 : Ecart moyens (par rapport à la situation de référence) de performances de reproduction observés sur le 1er cycle reproductif succédant à une contrainte nutritionnelle.

Troupeau - conduite	Ecart IVC (j)	Ecart IVF (j)	Ecart du taux de vaches gestantes à 120 j postpartum (%)
H100 - VG	38 ± 24	19 ± 35	-22
H100 - VE	29 ± 31	17 ± 34	-21
M100 - VG	40 ± 23	21 ± 36	-28
M100 - VE	32 ± 31	19 ± 34	-24
B100 - VG	44 ± 23	26 ± 39	-29
B100 - VE	39 ± 30	26 ± 37	-27
HB50 - VG	41 ± 22	22 ± 37	-24
HB50 - VE	33 ± 32	21 ± 35	-27
HMB33 - VG	40 ± 22	22 ± 37	-29
HMB33 - VE	34 ± 31	21 ± 35	-27

3.2.2. La capacité de reconstitution des réserves conditionne fortement la robustesse de la productivité du troupeau

Les effets de la contrainte nutritionnelle sont plus limités dans les troupeaux comportant une forte proportion de vaches H et M par rapport aux troupeaux B. Pour les troupeaux H et M, seules les performances de reproduction du cycle reproductif qui suit immédiatement la contrainte ont été impactées tandis que pour les troupeaux B, les effets de la contrainte nutritionnelle se prolongent sur deux cycles reproductifs (écart IVF 2ème cycle : 0 ± 16 j pour H100-VG et M100-VG vs. 42 ± 26j pour B100-VG). Lorsque les troupeaux HB50 et HMB33 sont conduits en VG ou en VE, l'impact de la contrainte nutritionnelle sur le premier cycle reproductif ne diffère pas entre les troupeaux. En revanche, l'impact sur le second cycle est plus important pour le troupeau HB50 (Tableau 2).

Tableau 2 : Ecart moyens (par rapport à la situation de référence) de performances de reproduction observés sur le 2ème cycle reproductif succédant à une contrainte nutritionnelle.

Troupeau - conduite	Ecart IVC (j)	Ecart IVF (j)	Ecart du taux de vaches gestantes à 120 j postpartum (%)
HB50 - VG	32 ± 35	22 ± 31	-29
HB50 - VE	29 ± 33	17 ± 28	-22
HMB33 - VG	21 ± 32	14 ± 28	-20
HMB33 - VE	18 ± 29	10 ± 24	-14

4. DISCUSSION-CONCLUSION

Le concept de base sur lequel repose le modèle Bresnus est que la trajectoire des lipides corporels d'une vache résulte d'une double dynamique : i) celle liée à l'âge et à l'enchaînement des stades physiologiques et ii) celle induite par la variabilité de l'environnement nutritionnel et la capacité à reconstituer les réserves. Par cette représentation nous avons essayé de distinguer dans la réponse reproductive, la part induite par des mécanismes d'homéorhèse de celle induite par une adaptation de l'animal à un environnement nutritionnel contraignant. Nous avons ainsi choisi de raisonner l'impact d'une contrainte nutritionnelle en écart à une situation non contraignante dite de référence. L'originalité de ce travail réside également dans la représentation dynamique des relations entre trajectoires nutritionnelles et capacité de reproduction sur le long terme : effet des dynamiques de lipides sur la reproduction et conséquences en retour des délais ou échecs de reproduction sur la trajectoire des lipides. Le modèle Bresnus est un modèle théorique qui permet de tester différents scénarios en jouant d'une part, sur les capacités adaptatives des vaches et certaines modalités de conduite de la reproduction (étalement des vèlages), et d'autre part sur les perturbations nutritionnelles qui peuvent être simulées (fréquence, durée, intensité, moment occurrence). Une analyse approfondie du comportement du modèle, croisant ces différentes composantes reste à mener afin de pouvoir conclure plus précisément sur les effets d'environnements nutritionnels changeant sur la longévité des vaches et leur carrière productive ainsi que sur la robustesse des troupeaux.

Les auteurs remercient l'ensemble du personnel des unités expérimentales de l'INRA de Laqueuille et de Bourges pour leur implication dans ce travail ainsi que la région Auvergne et le FEDER pour le soutien financier.

Åby B.A., Aass L., Sehested E., Vangen O., 2012. Livest. Sci., 150, 80-93

Agabriel J., Grenet N., Petit M., 1992. INRA Prod. Anim., 5, 355-369

Blanc F., Agabriel J., 2008. J. Agri. Sci. 146, 143-161

Blanc F., Dumont B., Brunschwig G., Bocquier F.,

Agabriel J., 2010. INRA Prod. Anim., 23, 65-80

Friggens N.C., 2003. Livest. Pro. Sci., 83, 219-236

Friggens N.C., Badsberg J.H., 2007. Anim. 1, 565-574

Friggens N.C., Brun-Lafleur L., Faverdin P., Sauvant D., Martin O., 2013. Anim. 7, 89-101

Garcia F., Agabriel J., 2008. J. Agri. Sci., 146, 251-265

Martin O., Sauvant D., 2010. Anim., 4, 2030-2047

Martin O., Sauvant D., 2010. Anim., 4, 2048-2056

Osoro K., Wright IA., 1992. J. Anim. Sci., 70, 1661-1666.

Recoules E., De La Torre A., Agabriel J., Egal D., Blanc F., 2013. Anim. Reprod. Sci 140, 115-123.

Recoules E., De La Torre A., Agabriel J., Egal D., Blanc F., 2014. Anim. Reprod. Sci. 146, 238.

Richards M.W., Spitzer J.C., Warner M.B., 1986. Anim.Sci., 62, 300-306

Robelin J., Daenicke R., 1980. Ann. Zootech., 29, 99-118.