

Prendre en compte l'efficacité alimentaire des vaches allaitantes dans les recommandations alimentaires à travers la quantification de leurs dépenses non productives

A. DE LA TORRE, J. AGABRIEL

UMRH, INRA, Vetagro Sup, 63122, Saint-Genès-Champagnelle, France

Courriel : anne.de-la-torre-capitan@inra.fr

La vache allaitante adulte utilise 70% de l'énergie qu'elle ingère pour ses besoins d'entretien. Cela correspond à une dépense non productive, qui varie selon les conditions d'alimentation et qui est associée à des mécanismes d'épargne, que des travaux récents ont permis de mieux quantifier. Ces travaux permettent d'adapter la stratégie des apports nutritionnels aux conditions d'élevage, tout en maîtrisant l'état corporel de la vache qui reste garant de la réussite de la reproduction.

L'élevage des ruminants a toujours recherché à améliorer l'efficacité alimentaire, qui à l'échelle de l'animal, se traduit par l'aptitude à convertir les nutriments provenant de son alimentation en produits consommables par l'Homme. L'efficacité de conversion de l'énergie (EffE) peut être estimée par le ratio EP/EI, avec le numérateur (EP) qui correspond à l'énergie que l'on retrouve dans le produit à savoir l'énergie contenue dans les kilogrammes de poids vif ou de viande produite, et le dénominateur (EI) qui équivaut à l'énergie ingérée grâce aux apports alimentaires, éventuellement complétée de l'énergie issue de la mobilisation des tissus si l'animal est en perte de poids.

Au cours des 25 dernières années, les efforts pour améliorer l'efficacité des productions a porté principalement sur une augmentation de la productivité animale qui s'est traduite par l'augmentation du format des vaches et du poids des carcasses produites de plus de 35 kg en race charolaise par exemple (Lherm *et al* 2004). Cette augmentation résulte à la fois des schémas d'amélioration génétique orientés vers les performances, mais aussi de l'amélioration de la couverture des besoins alimentaires pour exprimer ces gains de potentiel de croissance. L'incorporation accrue dans les rations d'aliments concentrés à base de céréales autoproduites et/ou achetées en a été le moyen. Ainsi dans les systèmes naisseurs-

engraisés du Grand Ouest par exemple, la quantité de concentré par UGB est passée de 630 kg dans les années 2000 à plus de 810 kg en 2013 (Inosys Réseaux d'élevage 2016). Or de telles pratiques ont des impacts économiques et environnementaux importants qu'il conviendrait désormais de réduire pour contribuer à la meilleure durabilité des élevages.

Les efforts pour améliorer l'efficacité des productions allaitantes bovines se sont majoritairement recentrés ces dernières années sur l'aptitude de l'animal à atteindre une performance avec un minimum de ressources alimentaires. Appliqué au quotidien dans les rations des bovins producteurs de viande, cela vise à : *i*) accroître la part de fourrages dans l'alimentation des vaches mères et des génisses et *ii*) réduire la part des aliments concentrés dans la ration des jeunes en finition. En termes d'efficacité énergétique, cela se traduit par la baisse de la valeur énergétique des apports alimentaires (dénominateur), qui doit être compensée en partie par la maîtrise de la variation de l'énergie allouée aux productions (au numérateur). Cela peut se réaliser notamment par l'amélioration des rendements digestifs et métaboliques. Mieux connaître les réponses biologiques des vaches allaitantes et notamment la partition de l'énergie ingérée vers les grands postes de dépenses physiologiques (production, reproduction, croissance, et entretien) constitue un objectif de recher-

che pour améliorer leur Efficacité Énergétique (EffE), qui nécessite de considérer les facteurs modulant les besoins « non productifs » liés à l'animal lui-même (âge stade physiologique) et à son environnement d'élevage (pâturage, stabulation). Un moyen pour cela est d'estimer les aptitudes des animaux à faire face à des changements d'environnements pour mieux comprendre comment se réalise la partition de l'énergie entre fonctions productives et non productives.

L'objectif de cet article, après avoir rappelé l'importance du besoin énergétique d'entretien, est *i*) de décrire la démarche qui a été mise en œuvre pour mieux évaluer les Dépenses Non Productives (DNP) des vaches allaitantes, *ii*) de discuter les principales sources de variations de ces dépenses en lien avec les variations de réserves corporelles et *iii*) de présenter les nouvelles recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes.

1 / L'importance du besoin énergétique d'entretien

Chez la vache allaitante, le besoin énergétique pour l'entretien correspond à près de 70% des besoins annuels totaux (Jarrige *et al* 1974), contre 40 à 50% chez la vache laitière. L'énergie d'entretien correspond à l'énergie nécessaire pour

assurer l'intégrité des grandes fonctions vitales : circulation et respiration (fonctionnement du cœur et des muscles), maintien du tonus musculaire, excrétion rénale, sécrétion d'enzymes et d'hormones (Korver 1988, Vermorel *et al* 1987). Plus classiquement, le besoin en énergie pour l'entretien se définit comme l'énergie minimale à apporter pour une variation de poids ou d'énergie corporelle nulle. Ainsi, un animal en croissance en situation d'entretien peut par exemple, moduler sa composition corporelle par une perte de lipides pour permettre la réalisation de la fonction de croissance protéique qui reste prioritaire (Hoch et Agabriel 2004). Les besoins pour l'entretien sont conventionnellement exprimés par rapport au « poids métabolique » qui se calcule comme le poids vif à la puissance 0,75 ($PV^{0,75}$), même si la pertinence de la puissance 0,75 a fait l'objet de nombreuses discussions (Brody 1945, Kleiber 1947, Sauvant *et al* 2006, Hulbert 2014).

Les valeurs du besoin énergétique nécessaire pour l'entretien rapportées dans la littérature sont très variables (figure 1) d'une part, à cause de la méthodologie de mesure ou d'estimation utilisée et, d'autre part, à causes de facteurs

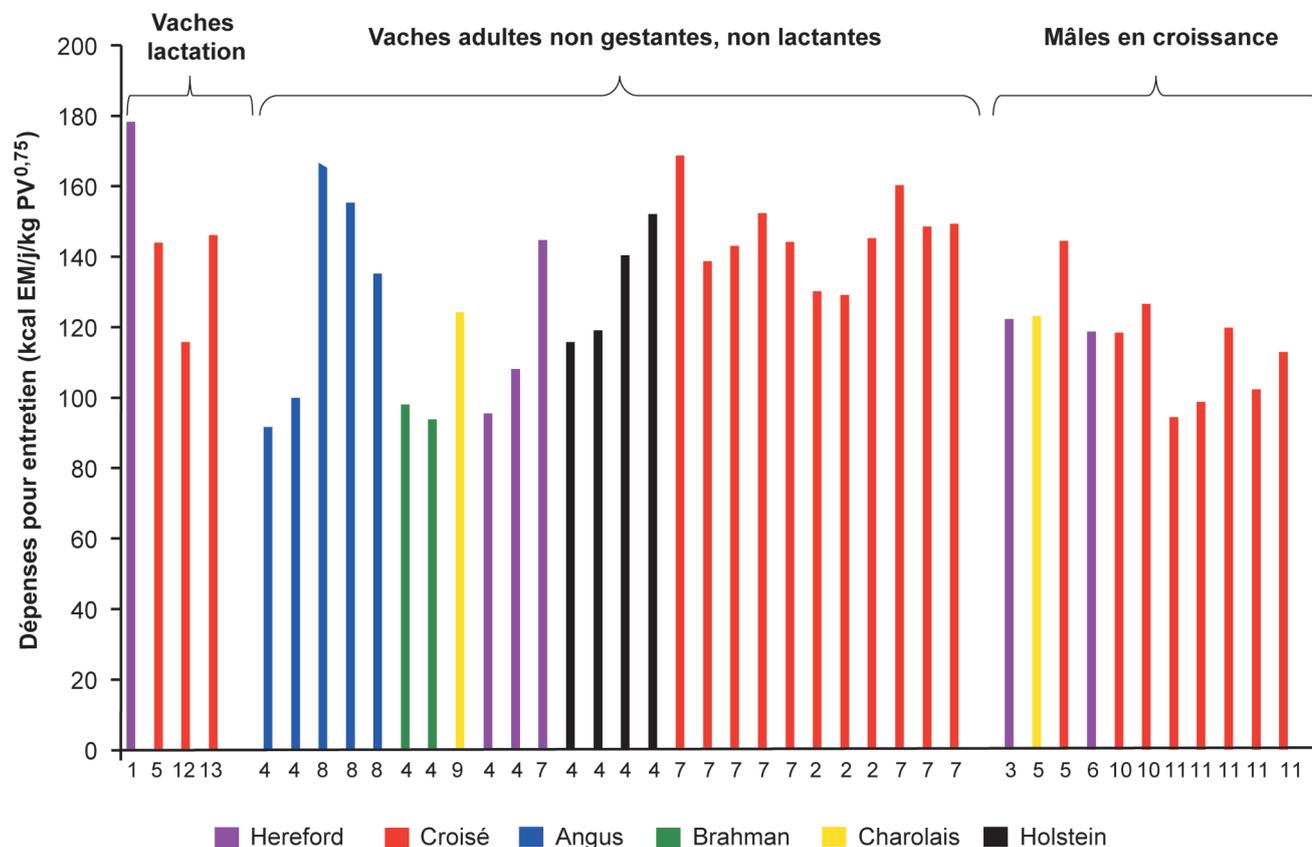
liés à l'animal et à son environnement d'élevage. Les aspects méthodologiques ne seront pas développés ici, mais on pourra se rapporter pour plus d'informations aux publications entres autres de Reynolds et Tyrrell (2000) et Johnson *et al* (2003). Parmi les facteurs animaux, on peut citer par ordre d'importance, *i*) l'effet combiné de la race et du niveau de production : à poids équivalent les vaches laitières hautes productrices ont des besoins d'entretien supérieurs de 20 à 23% à ceux des vaches allaitantes (Montano-Bermudez *et al* 1990), puis *ii*) les effets du stade physiologique : les vaches tarées ont des besoins d'entretien inférieurs de 10 à 15% à ceux des vaches en lactation (INRA 1978, 1988, 2007). La composition corporelle est aussi parfois citée, les vaches grasses présentant des besoins d'entretien plus élevés que les vaches maigres (INRA 2007, NRC 2016). Ces effets sont en partie attribuables à l'historique nutritionnel de ces vaches. Les effets du niveau alimentaire (variations pouvant aller jusqu'à + 40%, Johnson 1984) sont plus controversés car ils interfèrent également avec les niveaux de production. Ils sont en lien avec la forte contribution de la sphère digestive (16-30%) aux dépenses énergétiques au regard de son

importance pondérale (12% du poids vif), par comparaison à la masse musculaire qui compte pour 30-35% du poids et contribue seulement pour 8-16% à la dépense énergétique (Ortigue *et al* 1993 ; Johnson *et al* 2003). D'autres facteurs peuvent également expliquer la variabilité de la dépense pour l'entretien. C'est le cas notamment de l'activité physique qui contribue à son accroissement estimé forfaitairement à + 20% pour les animaux au pâturage (INRA 2007), mais de façon confondue avec l'effet de la température extérieure. Il reste enfin une importante variabilité individuelle (5-10%) difficilement prévisible et maîtrisable.

2 / Le dispositif de challenge pour estimer les dépenses non productives lorsque le niveau nutritionnel varie

La mesure directe des DNP reste complexe, coûteuse et source d'incertitudes en raison des difficultés techniques de mise en œuvre et du faible nombre d'animaux impliqués. Nous avons choisi de les estimer par une méthode indirecte en

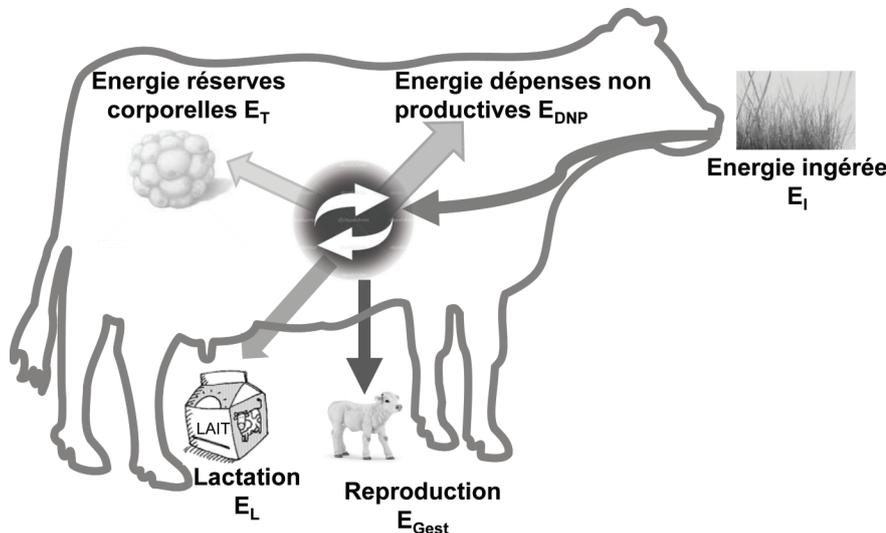
Figure 1. Données issues de la littérature illustrant la variabilité des besoins énergétiques d'entretien exprimés en kcal d'Énergie Métabolisable (EM) par jour et par kilo de Poids Vif métabolique ($PV^{0,75}$) selon le type d'animal.



1, Neville et Mc Culloch 1969 ; 2, Ferrell et Jenkins 1984 ; 3, Old et Garrett 1987 ; 4, Solis *et al* 1988 ; 5, Montano-Bermudez *et Nielsen* 1990 ; 6, Birkelo *et al* 1991 ; 7, Reid *et al* 1991 ; 8, Di Costanzo *et al* 1991 ; 9, Ortigue *et al* 1993 ; 10, Ferrel et Jenkins 1998a ; 11, Ferrell et Jenkins 1998b ; 12, Reynolds et Tyrrell 2000 ; 13, Freetly *et al* 2006.

Figure 2. Représentation schématique de la partition énergétique entre grandes fonctions biologiques chez la vache allaitante.

E_I : Énergie nette ingérée mesurée ou estimée ; E_T : Énergie nette mobilisée ($E_T < 0$) ou déposée ($E_T > 0$) dans les tissus, E_L : Énergie nette allouée à la production de lait ; E_{Gest} : Énergie nette allouée à la gestation future (ici $E_{Gest} = 0$) ; E_{DNP} : Énergie nette allouée aux fonctions non productives et calculée selon l'équation : $E_{DNP} = E_I - (E_L + E_T + E_{Gest})$, l'ensemble des termes est exprimé en UFL/j/ kg PV^{0,75}.



considérant la vache comme un système dynamique en interaction avec son environnement qui reçoit des intrants et qui produit du lait et des tissus (figure 2).

2.1 / Concepts et théorie basée sur l'analyse des systèmes

Pour étudier le fonctionnement du « système vache », il convient d'en définir les entrées et les sorties, les conditions environnementales et les facteurs susceptibles de le moduler. Trois processus majeurs sont à considérer : l'acquisition, l'allocation et l'utilisation des ressources. Par simplification, le processus d'acquisition des ressources (l'ingestion et ses régulations physiques, métaboliques et sociales) est contrôlé en conditions expérimentales et donc n'est pas considéré ici, bien que des travaux de modélisation aient souligné son importance et son interdépendance avec le processus d'allocation (Roff et Fairnairn 2007).

Concernant l'utilisation des ressources, nous utilisons le système des Unités Fourragères (UF) tel que décrit dans les Nouvelles Recommandations Alimentaires des Bovins, Ovins et Caprins (INRA 2017, à paraître). Dans le système des UF, l'animal est défini par son potentiel génétique et son stade physiologique. Ses besoins d'entretien et ses réponses productives à un niveau d'énergie ingérée dépendent en partie de la qualité de la ration, caractérisée par une efficacité d'utilisation de l'énergie métabolisable (rendement d'utilisation, k et rapport $q = \text{Énergie Métabolisable}_{EM} / \text{Énergie Brute}_{EB}$), variable selon la fonction

physiologique considérée. Ainsi, l'efficacité d'utilisation de l'EM pour l'entretien (66-76%) est plus élevée que celle utilisée pour la lactation (56-64%) ou l'engraissement (35-56%, INRA 1978). Par hypothèse, nous considérons que l'EM est utilisée pour une fonction avec une efficacité ne dépendant pas de la quantité d'apports. Les adaptations du système vache en réponse à un changement d'environnement nutritionnel se réalisent alors soit sur la fonction elle-même (baisse de production), soit sur la quantité d'extra-chaleur associée qui constitue pour partie les DNP.

Le troisième mécanisme mis en jeu dans notre système est l'allocation des ressources. C'est un processus qui consiste à partitionner l'énergie entre d'une part, les différentes fonctions physiologiques et, d'autre part, les structures physiques d'un organisme. L'allocation des ressources est un processus hiérarchisé qui peut aussi se raisonner dans le temps (Worley *et al* 2003). Au cours de la vie, les ressources ingérées peuvent être partitionnées entre les grandes fonctions de vie : croissance, reproduction et entretien (Martin et Sauvart 2010), tandis qu'au sein d'une fonction, les ressources seront partitionnées entre les différentes structures et processus intervenant dans cette fonction. Par exemple, pour la fonction de reproduction, les ressources qui lui sont allouées sont réparties entre les organes reproductifs et les besoins pour le développement du fœtus.

Dans le cadre du système vache, nous considérons les fonctions suivantes : lactation, gestation, accréation/mobilisa-

tion des tissus et les fonctions relatives aux DNP (figure 2). Lorsque le système n'est soumis à aucune perturbation, il maintient l'intégrité de son fonctionnement en prélevant dans l'environnement l'énergie nécessaire à la réalisation de ces différentes fonctions au regard de ses capacités propres. En cas de limitation des ressources, les capacités adaptatives de l'animal sont sollicitées et se traduisent par la priorisation de l'allocation des ressources vers une fonction majoritaire, diminuant en conséquence l'approvisionnement en ressources des autres fonctions. Le résultat de cet arbitrage est la mise en place d'un compromis. Dans le cas d'une vache soumise à une sous-alimentation, les compromis sont raisonnés entre les grandes fonctions de vie évoquées précédemment, principalement au travers des variations quantitatives et temporelles de l'état des réserves corporelles, et en privilégiant toujours la réussite à la reproduction (Petit et Agabriel 1993, Diskin et Kenny 2014).

2.2 / Application de la théorie : le challenge nutritionnel

Nous avons mis en place un cadre méthodologique appelé « challenge nutritionnel » (encadré 1) qui permet de quantifier au sein de deux trajectoires nutritionnelles contrastées les principales réponses zootechniques (variations de poids, d'état et de composition corporelle, production de lait, performances de reproduction) des femelles allaitantes et d'en déduire leurs DNP. Le bilan énergétique s'écrit (équation 1) :

$$E_{DNP} = E_I - (E_L + E_{GEST} + E_T) \quad (1)$$

où E_{DNP} correspond à l'énergie des DNP, E_I correspond à l'énergie ingérée exprimée en énergie nette lait, E_L correspond à l'énergie nette allouée pour la production de lait, E_{GEST} correspond à l'énergie nette retenue dans l'utérus gravide et le fœtus, E_T correspond à l'énergie nette mobilisée ($E_T < 0$) ou déposée ($E_T > 0$) dans les tissus.

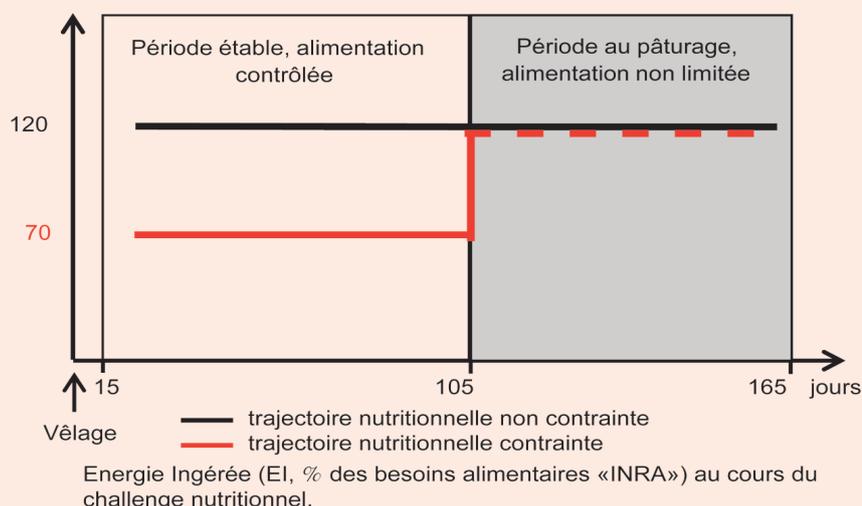
E_{DNP} correspond donc à l'énergie qui n'est pas allouée directement aux fonctions productives. En d'autres termes, l' E_{DNP} et ses variations reflètent les ajustements d'allocation d'énergie qui interviennent lorsque le système fait face à une perturbation de son environnement. Cela correspond à l'énergie pour l'entretien, l'extra-chaleur liée à l'activité volontaire, aux fermentations, à la digestion, à l'absorption et au métabolisme (Williams et Jenkins 2003). On ne peut exclure les erreurs de mesure et d'estimation de l' E_I notamment lorsque les vaches sont au pâturage ainsi que les erreurs sur les efficacités partielles d'utilisation de l'énergie

Encadré 1. Le challenge nutritionnel.

La méthode que nous avons choisie d'utiliser, également appelé challenge nutritionnel, permet d'observer une performance de production optimale lorsque les animaux ne sont pas en situation contraignante et de comparer cette performance à celle obtenue lorsqu'une contrainte est appliquée. L'objectif de cette méthode est de pouvoir mesurer à différentes échelles de temps (du court au moyen terme) les principales réponses zootechniques des femelles reproductrices (variations de poids et d'état, production de lait, performance de reproduction) dans le cas où elles sont soumises à une perturbation alimentaire plus ou moins importante durant les premiers mois de lactation.

Le challenge nutritionnel consiste à soumettre des vaches dès leurs vêlages à deux trajectoires nutritionnelles contrastées : une trajectoire nutritionnelle qualifiée de non limitante et une trajectoire nutritionnelle variable caractérisée par une période de sous-alimentation post-partum (P1, du vêlage à 100 jours) suivies d'une période dite de compensation à l'herbe (P2, 60 jours) qui correspond au début de la période de pâturage. Au cours de P1, une ration composée de foin et de concentré est distribuée selon deux niveaux d'énergie : bas (70% des besoins théoriques) et témoin (120% des besoins théoriques).

E_I (% besoins théoriques)



métabolisable pour la lactation, la croissance, les réserves corporelles. Ces différentes composantes de l' E_{DNP} ne sont pas facilement mesurables en pratique, mais la comparaison entre deux trajectoires nutritionnelles permet de garantir le niveau de contraintes et donc de le mettre en relation avec les réponses animales mesurées.

3 / Données disponibles et hypothèses de calculs pour la quantification et l'analyse des DNP

Par une analyse quantitative des données acquises lors d'expérimentations de challenges nutritionnels réalisées sur les troupeaux allaitants des fermes expérimentales de l'INRA, nous avons pu quantifier l'importance relative des DNP au regard des dépenses pour la production. Cette analyse de données a mis en évidence les principaux facteurs de variation des DNP, tout en prenant en compte

les capacités des vaches allaitantes à faire face à des changements d'environnements. La base de données constituée et nommée « *Beef Cows* » comprend les résultats de 30 expérimentations menées en stations expérimentales INRA de 1975 à 2014 avec des vaches allaitantes et 101 traitements testés, les résultats de plusieurs traitements pouvant être rapportés dans une seule expérimentation (tableau 1).

Dans cette base de données, les quantités ingérées ont été mesurées à l'étable ou estimées au pâturage en utilisant les unités d'encombrement et la capacité d'ingestion des vaches (Faverdin *et al* 2011). Les valeurs des aliments et des rations ont été calculées selon le système d'unité d'alimentation INRA (2017) pour les ruminants (outil systool web, <http://www.systool.fr>).

Au cours des expérimentations, les vaches ont été pesées régulièrement et leur état corporel estimé par palpation (Note d'Etat Corporel (NEC) sur une échelle de 0 à 5, Agabriel *et al* 1986) par

deux notateurs expérimentés. Afin de tenir compte des variations de Matière Sèche (MS) ingérées entre les essais, les poids vifs mesurés ont été corrigés en considérant qu'une variation de 1 kg de MS ingérée se traduisait par un changement de 4 kg de poids vif (Chilliard *et al* 1987). Cependant dans la majorité des cas les rations étaient données en quantité limitées et cette correction a au final peu d'effet.

Les Poids Vifs Vides (PVV) de chaque vache ou les PVV moyens par lots ont été calculés selon l'équation d'allométrie proposée par Robelin et Daenicke (1980) :

$$PVV = c_0 \times PV^{c_1}$$

Les valeurs des coefficients c_0 et c_1 sont respectivement égales à 0,8284 et 0,8384 et correspondent à une vache de grand format du modèle de composition corporelle des vaches « *CompoCow* » (Garcia et Agabriel 2008).

La composition corporelle a été estimée indirectement à partir de la mesure du diamètre des adipocytes (Robelin 1990) réalisée en début et en fin de période expérimentale pour 70% des lots de multipares et pour tous les lots de primipares. Dans les autres cas (30% des lots de multipares) elle a été estimée à partir des NEC. Les mesures de diamètre des adipocytes (diam) ont été transformées en proportions de tissu adipeux dans le PVV (TAD en % PVV) en reprenant l'équation du modèle « *CompoCow* » :

$$TAD (\% PVV) = 5,211 \times \exp^{(0,0114 \times \text{diam})}$$

puis exprimés en kilos. Les lipides corporels (LIP, kg) ont ensuite été calculés par l'équation d'allométrie :

$$LIP = 1,134 \times TAD^{0,992} \text{ (INRA 1978)}$$

La quantité de protéines corporelles (PROT, kg) a été calculée en considérant que la masse délipidée était constituée de 20% de protéines et de 80% d'eau (Garcia et Agabriel 2008) :

$$PROT = (PVV - LIP) \times 0,20$$

Au final, nous avons différencié au sein de cette base de données le stade de production : Lactation ($n = 80$ traitements) vs Gestation/Tarissement ($n = 21$ traitements) ainsi que la parité des vaches. Cinquante-quatre traitements concernent des vaches multipares en lactation (PV moyen = 705 kg ; NEC = 2,4 ; production de lait = 7,9 kg/j), 26 traitements se rapportent à des vaches primipares en lactation (PV moyen = 678 kg ; NEC = 2,4 ; production de lait = 7,0 kg/j) et 21 traitements sont relatifs à des vaches multipares gestantes ou tarées (PV

Tableau 1. Caractéristiques et performances zootechniques moyennes des vaches de la base « Beef Cows ».

	Vaches en lactation								Vaches taries / gestantes			
	Multipares (54 traitements)				Primipares (26 traitements)				Multipares (21 traitements)			
	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET	Min	Max	Moy	ET	Min	Max
PV initial (kg)⁽¹⁾	705,1	83,2	581,5	852,0	678,6	47,0	585,4	771,1	634,3	50,2	562,0	730,0
GMQ (kg/j)⁽²⁾	- 0,21	0,35	- 1,28	1,08	0,11	0,39	- 0,56	0,84	0,0103	0,027	- 1,12	1,58
NEC⁽³⁾	2,4	0,5	1,3	3,6	2,4	0,3	1,7	2,9	2,5	0,8	1,3	4,2
Variation NEC⁽⁴⁾	- 0,25	0,5	- 1,4	1,0	- 0,07	0,28	- 0,7	0,4	- 0,5	1,0	- 2,4	1,4
Production de lait (kg/j)⁽⁵⁾	7,9	1,4	4,35	12,6	7,0	1,1	4,8	9,2				
Durée (jours)⁽⁶⁾	87,4	26,0	49,0	166,0	88,5	27,3	49,0	133,0	77,2	42,5	31,0	160,0

⁽¹⁾ PV initial = Poids Vif mesuré en kilogrammes au début de l'expérimentation ; pour les vaches en lactation il s'agit du poids vif après vêlage ; ⁽²⁾ GMQ = Gain Moyen Quotidien mesuré en kilo par jour sur la période d'observation du traitement ; ⁽³⁾ NEC = Note d'État Corporel mesurée sur une échelle de 0 à 5 (Agabriel *et al* (1986) ; ⁽⁴⁾ Variation NEC = Variation de note d'état corporel observée au cours de la période d'observation du traitement ; ⁽⁵⁾ Production de lait = quantité de lait bu par les veaux mesurée selon la méthode de Le Neindre (1983) et exprimée en kilo de lait par jour ; ⁽⁶⁾ Durée = Durée en jours pendant laquelle le traitement a été appliqué.

moyen = 634 kg ; NEC = 2,5). Le nombre de données relatives aux vaches primipares gestantes ou taries étant insuffisant, ces données n'ont pas été incluses dans la base. La durée moyenne pendant laquelle les traitements ont été observés est de 84,4 (± 6,2) jours. Dans la majorité des expérimentations et durant la période menée à l'étable, les lots de vaches étaient appariés et recevaient des niveaux d'alimentation contrastés dont les différences pouvaient aller jusqu'à 5 UFL. De plus, dans 5 expérimentations (18 traitements), des vaches ont été également étudiées durant la première partie de pâturage (60 jours en moyenne) où la pousse de l'herbe était maximale et son accès non limité.

La production laitière a été mesurée régulièrement par pesées des veaux avant et après tétée (Le Neindre et Dubroeuq 1973). Nous avons fait l'hypothèse que le lait bu par le veau avait une composition standard et constante quel que soit le niveau alimentaire reçu par la mère. Ainsi il a été considéré que les teneurs en matières grasses et en protéines étaient respectivement de 42 et 33 g/L de lait, ce qui correspond à un contenu en énergie nette de 0,44 UFL/L de lait (Agabriel et De La Torre 2017).

Grâce à ces mesures et estimations, les bilans en énergie nette lait (UFL calcul 2017) ont alors pu être calculés afin d'en déduire l'énergie des DNP selon l'équation 1. En phase de mobilisation des réserves corporelles, E_T se calcule comme suit :

$$E_T = [(\Delta LIP \times 9,39) + (\Delta PROT \times 5,48)] \times 0,8$$

en faisant l'hypothèse que les réserves corporelles sont utilisées pour la lactation avec une efficacité partielle cons-

tante de 0,8 (Chilliard *et al* 1987, Sauvart *et al* 2017). En phase de reconstitution des réserves corporelles, E_T se calcule comme suit :

$$E_T = [((\Delta LIP \times 9,39) / 0,6) + ((\Delta PROT \times 5,48) / 0,35)] \times kls$$

en considérant que les efficacités d'utilisation de l'énergie métabolisable pour le dépôt de lipides et de protéines sont respectivement de 0,6 et 0,35 (Geay *et al* 1984) et que l'efficacité partielle d'utilisation de l'énergie métabolisable pour la lactation est kls (Sauvart *et al* 2017), dont la valeur dépend du rapport $q = EM/EB$ des rations utilisées (en moyenne $q = 0,50$ et $kls = 0,62$).

Dans le système tel que nous l'avons défini, E_{GEST} a été considérée comme négligeable, la reproduction n'ayant débuté le plus souvent qu'en fin de période expérimentale.

L'analyse statistique des E_{DNP} calculées a été réalisée par modèle mixte en considérant l'expérience en facteur aléatoire. Mais quelques expérimentations présentes dans la base ne comportaient pas les informations nécessaires pour appliquer l'équation 1. L'analyse porte donc sur 20 traitements ayant trait à des vaches primipares et 36 à des vaches multipares. La manière d'alimenter les vaches (à volonté ou en quantités limitées), la parité et l'activité physique selon l'environnement dans lequel elles sont placées (pâturage, stabulation libre, étable entravée) ont été considérées comme des facteurs fixes supplémentaires. Le gain de poids mesuré ainsi que l'état d'engraissement initial des lots codés selon trois niveaux (bon, moyen, médiocre) ont été traités en covariables, en faisant l'hypothèse que les E_{DNP} ne sont pas fixes et que l'extraction augmente avec le métabolisme

de dépôt tissulaire (Williams et Jenkins 2003), lui-même dépendant de l'état d'engraissement de l'animal.

4 / Besoins énergétiques pour la production et énergie des dépenses non productives

L'analyse de la base de données a permis de quantifier les différents termes de l'équation 1 et leurs variabilités, qui sont abordés successivement dans ce paragraphe.

4.1 / Les besoins énergétiques en lien avec la production de lait (E_L)

La production laitière des lots de vaches allaitant leurs veaux rapportée dans la base de données se situe entre 4,3 et 12,6 kg par jour, ces valeurs étant mesurées sur la durée totale d'application des traitements alimentaires. Pour chaque lot, le niveau de production laitière mesurée peut être rapporté à l'énergie disponible pour le lait, considérée comme la somme de l'énergie nette des apports (E_i) et l'énergie nette mobilisée à partir des réserves corporelles (E_T). Comme le montre la figure 3, la production laitière est très peu affectée par le niveau de cette énergie disponible que ce soit pour des multipares ou des primipares (pente non différente de zéro). Ce résultat, qui repose sur un nombre important de données, confirme les observations antérieures faites sur des lots appariés qui avaient contribué aux précédentes éditions des recommandations alimentaires INRA (Agabriel et Petit 1987, INRA 1988, INRA 2007). L'efficacité de l'extraction du lait par la tétée avait déjà été soulignée, comme la sensibilité supérieure des vaches primipares. Notre nouvelle analyse faite sur 80 jours de lactation

en moyenne ne permet pas de mieux quantifier l'effet de la durée d'application de la restriction sur la réponse de production.

La vache tamponne les variations d'apports, mobilise ses réserves et alloue suffisamment de nutriments pour la production de lait. Cette observation diffère bien évidemment de ce qui est retenu sur des vaches laitières traites. Mais il est aussi envisageable, et ce n'est pas mesuré ici, que sous contrainte alimentaire, la composition du lait produit par la vache allaitante varie comme observé chez la vache laitière traitée et par conséquent que son contenu en énergie soit moindre. La composition du lait trait et notamment sa teneur en protéines varie en fonction du niveau d'énergie ingérée (Coulon et Remond 1991). La loi de réponse est de 0,08 g de protéines/kg de lait par MJ d'EM ingéré en moins ce qui, dans notre challenge de 80 jours, se traduirait tout au plus par une baisse de la valeur énergétique de la production (8 kg/j) de 0,1 UFL. Les variations de teneurs en matières grasses dans le lait sont indépendantes de la production laitière et de la teneur en protéines, mais sont affectées par la proportion et la composition des concentrés dans la ration. Toutefois, lorsque comme ici la part de concentré est inférieure à 40%, les teneurs en matières grasses dans le lait ne varient que de 0,04 g/kg lait/MJ EM. Cette légère augmentation tendrait à compenser la moindre valeur énergétique en lien avec la baisse de la teneur en protéines (Journet et Chilliard 1985). Au regard des niveaux alimentaires rapportés dans la base de données, nous avons toujours considéré que la composition du lait bu par les veaux était constante (33 g de matières protéiques et 42 g de matières grasses par kg de lait bu).

4.2 / Les besoins énergétiques tissulaires (E_T) en lien avec les variations de composition corporelle

Chez les vaches allaitantes, les variations de réserves corporelles sont souvent appréciées au travers des variations de poids vifs. Notre analyse repose sur les mesures de composition de la variation de poids et permet de distinguer les parts respectives des lipides et de la masse délipidée. La figure 4 représente les variations de lipides corporels observées sur notre jeu de données au regard des variations de poids vifs. Selon la parité, une relation linéaire ($p < 0,001$) entre ces deux variables a été quantifiée (équations 2a et 2b) :

Pour les vaches multipares,

$$\Delta Lip = -0,46 + 0,38 \times \Delta PVc \quad (n = 35) \quad (2a)$$

Figure 3. Relations entre la production de lait (kg/j) et la disponibilité en énergie (énergie ingérée E_I + énergie des tissus E_T) exprimée en UFL/jour/kg $PV^{0,75}$ chez des vaches charolaises multipares (ronds et trait plein rouge) et primipares (ronds et trait plein noir).

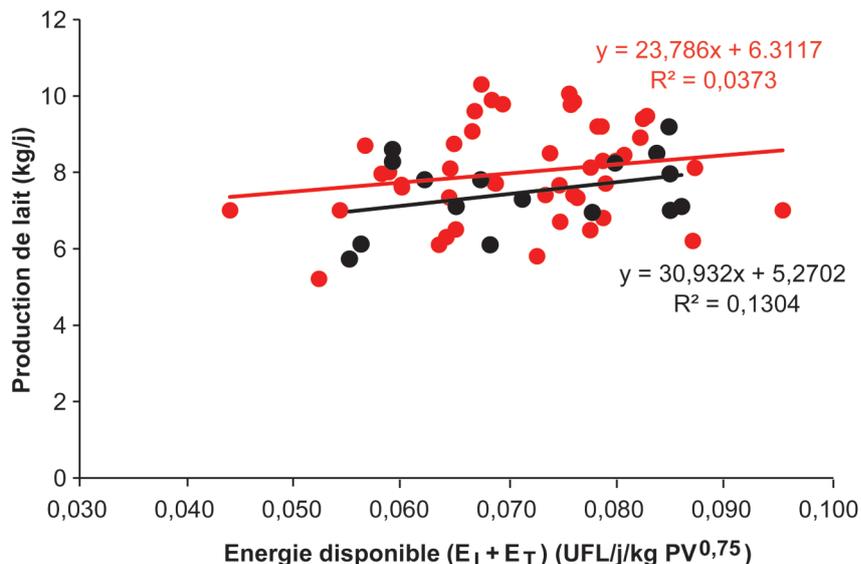
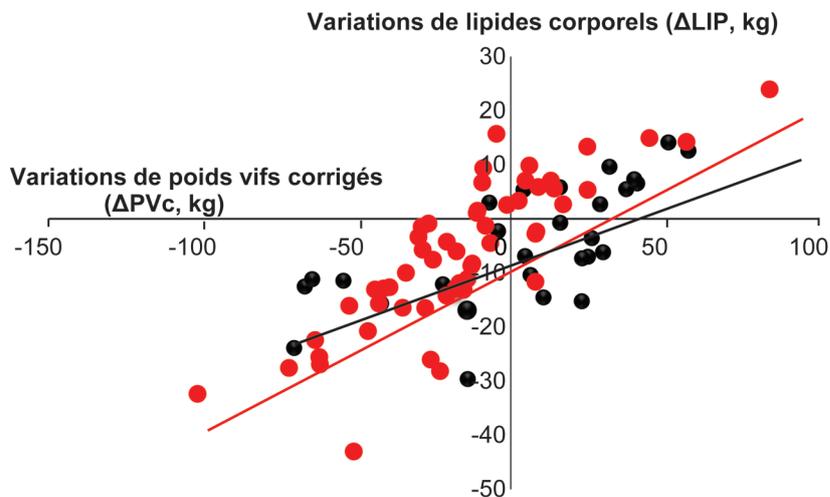


Figure 4. Relation entre la variation des réserves lipidiques et celle de la masse corporelle chez des vaches charolaises multipares (ronds et trait plein rouge) et primipares (ronds et trait plein noirs).

Chaque point représente un lot d'animaux (entre 5 et 23 vaches multipares et entre 5 et 12 vaches primipares).



Pour les vaches primipares,

$$\Delta Lip = -0,46 + 0,21 \times \Delta PVc \quad (n = 21) \quad (2b)$$

Dans ces deux équations, ΔLip correspond à la variation de lipides corporels et ΔPVc équivaut à la variation de PV corrigé de l'ingéré. La part des lipides dans la variation de poids vif corrigé est respectivement de 38 et 21% pour les vaches multipares et primipares. Si l'on considère que la part des protéines dans la variation de masse corporelle délipidée ($\Delta PVc - \Delta Lip$) est de l'ordre de 20%, la teneur moyenne en protéines dans la variation de poids vif se déduit directement et représente respectivement 13 et

16% pour les vaches multipares et primipares.

La différence de composition de la variation de poids observée entre vaches primipares et multipares peut s'expliquer par le maintien de la fonction de croissance chez les premières. Elle est en moyenne de 0,11 kg/j, quelles que soient les conditions d'alimentation. Ces jeunes vaches n'ont pas encore atteint leur format adulte et la croissance protéique va se réaliser au détriment des dépôts de lipides quand les apports alimentaires ne permettent pas les deux. Ce mécanisme a déjà été modélisé chez la génisse en croissance discontinue entre 8 et 30 mois d'âge (Hoch *et al* 2005).

Les proportions de lipides dans la variation de poids des vaches multipares et primipares observées sont assez faibles, et se situent à la moyenne des valeurs estimées par Agabriel et Petit (1987) pour une vache présentant une NEC comprise entre 2 et 3 (20 et 60% de lipides). Dans l'analyse présentée ici, nous n'observons pas de différence avec l'état initial au vêlage, sans doute en raison de la structure des données de la base où les lots présentant des états extrêmes sont peu nombreux et au dispositif de challenge nutritionnel dans lequel la limitation des apports ne dépasse pas 100 jours. Les estimations de 1987 avaient été réalisées par abattages de lots appariés de vaches de réforme charolaises et limousines non gestantes, engraisées de très maigres (7,5 % lipides/PVV) à très grasses (21% de lipides/PVV) (Robelin 1990). La proportion mesurée de lipides dans la variation était alors en moyenne plus élevée (70%) surtout vers la fin de l'engraissement (95%). Un même modèle d'enrichissement en lipides du gain de poids selon l'état avait été proposé par Wright *et al* (1984). Il est dans son principe développé dans le NRC (2016) où selon la note d'état, la proportion de lipides dans la variation de poids passe de 43% (note 1 dans notre grille) à 65% (note 2,5 dans notre grille). Les races usuelles considérées aux USA (Hereford, Angus ou leurs croisements) sont cependant différentes puisque le NRC indique une proportion de 18,8% de lipides dans la masse corporelle à la note moyenne, au lieu de 15,5% pour les vaches charolaises (Agabriel et Petit 1987). Les conditions analysées dans notre base de données sont donc bien différentes et restent toujours dans des limites normales d'élevage de vaches de races françaises. Dans nos observations, l'état corporel joue davantage en interaction sur les dépenses énergétiques non productives comme nous le proposons par la suite. Il intervient donc bien évidemment dans le bilan énergétique. Le principe de l'enrichissement en lipides du gain reste également au cœur du modèle « *Compcow* » (Garcia et Agabriel 2008) qui est appliqué dans les propositions d'apports recommandés pour la finition des vaches.

Compte tenu des compositions corporelles observées dans la base de données, et des hypothèses de calculs appliquées à chacun des lots, et en ne conservant que des variations observées supérieures ou inférieures à 150g/j pour le calcul, la teneur moyenne en énergie nette tissulaire de la variation de poids (E_T) est de (équations 3a et 3b) :

Pour la vache multipare,

$$E_T = 2,4 (\pm 1,1) (n = 36) \text{ UFL/kg de PV (corrigé de l'ingestion) (3a)}$$

Pour la vache primipare,

$$E_T = 1,8 (\pm 1,1) (n = 20) \text{ UFL/kg de PV (corrigé de l'ingestion) (3b)}$$

Cette valeur énergétique de la variation de poids a été confrontée à la variation totale de note d'état dans les dispositifs de challenge mais aucune relation n'a été mise en évidence. Ainsi quelle que soient l'importance et l'intensité des variations d'état et de poids, nous considérerons dans la suite ces valeurs de E_T comme fixes dans le modèle de recommandations énergétiques appliqué aux vaches en production.

4.3 / L'énergie des dépenses non productives

a) Principes retenus pour l'analyse

Selon l'équation 1, E_{DNP} , calculée avec notre jeu de données sur chacun des lots et mise en relation avec des variables potentiellement explicatives, est corrélée avec les changements de masse corporelle. Ainsi, lorsque les variations de poids s'accroissent, l'énergie des DNP augmente. Ceci est cohérent avec une augmentation de l'extra-chaleur produite lorsque les animaux gagnent du poids et reconstituent leurs réserves corporelles, ainsi qu'avec une réduction du métabolisme basal lorsque les animaux perdent du poids et mobilisent leurs réserves corporelles. Dans le bilan énergétique, une variation de poids se traduit alors par une variation de E_{DNP} et à laquelle s'ajoute l'énergie de la variation tissulaire.

E_{DNP} peut ainsi être modélisée par une relation linéaire (équation 4) :

$$E_{DNP} = a + b \times \Delta PVc \quad (4)$$

où E_{DNP} correspond aux dépenses journalières non productives exprimées en énergie nette lait par kilo de PV métabolique (UFL/j/kg PV^{0,75}) et ΔPVc correspond à la variation journalière de PV corrigé de l'ingéré. Par définition, lorsque ΔPVc est nulle, l'ordonnée à l'origine de la relation linéaire équivaut à l'estimation indirecte de la dépense énergétique pour l'entretien. Lorsque ΔPVc n'est pas nulle, la pente b correspond à l'estimation des dépenses énergétiques non productives liées aux variations de poids. Ce sont surtout des dépenses associées à de l'énergie supplémentaire dissipée sous forme d'extra-chaleur (Williams et Jenkins 2003). L'équation 4 peut donc s'écrire ainsi (équation 5) :

$$E_{DNP} = E_{\text{entretien}} + E_{\Delta NP(\Delta PVc)} \quad (5)$$

où $E_{\text{entretien}}$ correspond à l'énergie nette des dépenses pour l'entretien et $E_{\Delta NP(\Delta PVc)}$

correspond à l'énergie nette relative aux variations d'énergie associées aux changements de masse corporelle. L'ensemble de ces termes est exprimé en énergie nette lait par jour et par kilo de poids vif métabolique (UFL/j/kg PV^{0,75}).

b) Cas d'une variation de poids nulle : estimation de l' $E_{\text{entretien}}$

Lorsque l'équation 5 est appliquée aux données « vaches en gestation ou tarées » de la base de données ($n = 21$ traitements), l'estimation du paramètre b n'est pas satisfaisante en raison des imprécisions relatives à la part du poids du veau et à celle de l'utérus dans la décomposition de la mesure du PV des vaches gestantes. Toutefois, pour une variation nulle de poids vif, la valeur moyenne de l'ordonnée à l'origine « a » calculée intra-expérimentation en sélectionnant les expérimentations où les vaches sont à l'attache équivaut à 0,043 UFL/j/kg PV^{0,75}. Cette valeur est légèrement supérieure à la valeur de 0,040 UFL/j/kg PV^{0,75} mesurée en chambre respiratoire (en condition de thermoneutralité et contention des animaux) avec des vaches charolaises tarées (Vermorel *et al* 1976, Ortigues *et al* 1993).

À partir de notre jeu de données, il est possible de prendre en compte l'estimation de l'activité physique inhérente aux pratiques d'élevage. La valeur de 0,043 UFL/j/kg PV^{0,75} est alors augmentée lorsque les animaux sont en stabulation libre en moyenne de 8% (valeur arrondie à 10% pour la cohérence globale de cette valeur dans le système INRA) et de 20% lorsqu'ils sont au pâturage.

Lorsque l'on applique l'équation 5, aux vaches en lactation soit $n = 80$ traitements dont 54 de multipares, la valeur de l'ordonnée à l'origine est de 0,049 UFL/j/kg PV^{0,75}. De la même manière, les conditions environnementales de la pratique peuvent être prises en compte dans l'ajustement du modèle et cette valeur passe alors à 0,054 UFL/j/kg PV^{0,75} lorsque la vache en lactation est en stabulation libre et à 0,058 UFL/j/kg PV^{0,75} lorsque la vache est au pâturage.

c) Cas d'une variation de poids non nulle : estimation du coût énergétique supplémentaire lié à ΔPVc

À partir de notre base de données, il est possible de tenir compte des variations de poids observées intra-expérimentations et de l'activité physique en lien avec les conditions environnementales. L'énergie non productive associée aux changements de masse corporelle est en moyenne de 0,019 UFL/j/kg PV^{0,75} que les vaches soient en stabulation libre ou au pâturage. Pour des vaches en lactation, l'équation 5 devient donc :

En stabulation libre,

$$E_{DNP} = 0,054 + 0,019 \times \Delta PV_c \quad (5a)$$

Au pâturage,

$$E_{DNP} = 0,058 + 0,019 \times \Delta PV_c \quad (5b)$$

(L'ajustement du modèle statistique est fait sur 80 traitements issus de 33 expérimentations, RMSE= 0.0074)

Au sein de notre jeu de données, nous n'avons pas pu mettre en évidence d'effet significatif de la parité et de l'état corporel initial sur l'ordonnée à l'origine. L'état corporel est pourtant cité dans la littérature comme un facteur susceptible de moduler les dépenses pour l'entretien. Cette variable, bien que non significative, peut être introduite en facteur interférant sur la pente dans notre modèle de prédiction de l'énergie liée aux DNP. Le terme interférant $\Delta PV_c \times NEC$ est significatif et le modèle devient (équations 6a et 6b) :

En stabulation libre,

$$E_{DNP} = 0,054 + 0,0073 \times \Delta PV_c \times NEC \quad (6a)$$

Au pâturage,

$$E_{DNP} = 0,058 + 0,0073 \times \Delta PV_c \times NEC \quad (6b)$$

(L'ajustement du modèle statistique a été réalisé sur 80 traitements issus de 33 expérimentations, RMSE = 0,0077).

Dans ces deux équations, ΔPV_c correspond à la variation de PV corrigé de l'ingéré et NEC à la note d'état corporel au moment du vêlage. Le domaine de validité pour ces deux équations correspond à une plage de variation de la NEC comprise entre 1,5 et 3,5 sur l'échelle allant de 0 à 5. Le coefficient 0,0073 correspond à l'énergie non productive supplémentaire engendrée par une variation d'un kilo de masse corporelle qu'il soit déposé ou mobilisé. Ainsi pour une vache de 700 kg de PV (soit 136 kg de $PV^{0,75}$), présentant une NEC de 2,5 au vêlage, l'énergie des DNP engendrées par une variation de 1 kg de masse corporelle atteindrait 0,018 UFL/j/kg $PV^{0,75}$, soit 2,48 UFL/jour.

En pratique, et dans l'objectif de bien prendre en considération les facteurs susceptibles de moduler le bilan énergétique des vaches allaitantes en lien avec la variation de poids, l'énergie des DNP peut s'exprimer dans la seule équation (équation 7) :

$$E_{DNP} = (E_{\text{entretien}} \times I_{\text{act}}) + (0,0073 \times \Delta PV_c \times NEC) \quad (7)$$

$E_{\text{entretien}}$ correspond à l'énergie nette pour une variation de poids vif nulle soit

Encadré 2. Calcul des besoins énergétiques (UFL/jour) pour des vaches charolaises en lactation.

Vache charolaise primipare en lactation : PV = 680 kg ($PV^{0,75} = 133$), Variation de PV ($\Delta PV_c = 0,2$ kg/j), Production de lait = 7 kg/j, Note d'État Corporel (NEC) : 2,5, Variation de NEC (ΔNEC) sur 100 jours = - 0,25, conduite en stabulation libre. Dans ce cas, on considère que la variation de dépôts adipeux estimés par la note d'état (1 point de note = 30 kg de lipides) est prioritairement allouée à la croissance, sous forme de protéines déposées.

$$\text{Besoins totaux (UFL/j)} = E_L + E_{\text{GEST}} + E_T + E_{\text{DNP}} \quad \text{Équation 1}$$

$$\text{avec } E_{\text{DNP}} = E_{\text{entretien}} + E_{\Delta NP} (\Delta PV_c) \quad \text{Équation 5}$$

a. Besoins énergétiques des fonctions non productives

$$E_{DNP} = 0,054 + 0,0073 \times \Delta PV_c \times NEC$$

$$E_{DNP} = 0,054 + 0,0073 \times (0,200) \times 2,5 = 0,058 \text{ UFL/j/kg } PV^{0,75}$$

$$\text{Soit } E_{DNP} = 0,058 \times 133 = 7,67 \text{ UFL/j} \quad \text{Équation 6}$$

b. Énergie du dépôt (du gain) (E_T)

$$E_T = 1,8 \times 0,1 = 0,18 \text{ UFL/j}$$

(Note : le calcul par la variation de NEC indique que la vache primipare mobilise chaque jour 33 g de lipides et dépose 46 g de protéines et 184 g d'eau).

$$\text{Équation 3}$$

c. Énergie pour la lactation

$$E_L = 0,44 \times 7 = 3,08 \text{ UFL/j}$$

d. Énergie pour la gestation

$$E_{\text{GEST}} = 0$$

Besoins totaux

$$\text{Besoins totaux} = 7,67 + 0,18 + 3,08 + 0 = 10,9 \text{ UFL/j (arrondi à 11 UFL/j)}$$

Vache charolaise multipare en lactation : PV = 700 kg ($PV^{0,75} = 135$), Production de lait : 9 kg/j, Capacité d'Ingestion CI = 16,2 UEB, NEC initiale = 2,5, Variation de PV corrigé de l'ingéré ($\Delta PV_c = - 0,15$ kg/j), Variation de NEC ($\Delta NEC : = - 0,2$) (grille de 0 à 5), Conduite en stabulation libre.

a. Besoins énergétiques des fonctions non productives

$$E_{DNP} = 0,054 + 0,0073 \times \Delta PV_c \times NEC$$

$$E_{DNP} = 0,054 + 0,0073 \times (- 0,15) \times 2,5 = 0,051 \text{ UFL/j/kg } PV^{0,75}$$

$$\text{Soit } E_{DNP} = 0,051 \times 135 = 6,92 \text{ UFL/j} \quad \text{Équation 6}$$

b. Énergie issue des réserves corporelles (E_T)

$$E_T = 2,4 \times (- 0,15) = - 0,36 \text{ UFL/j} \quad \text{Équation 3}$$

c. Énergie pour la lactation

$$E_L = 0,44 \times 9 = 3,96 \text{ UFL/j}$$

d. Énergie pour la gestation

$$E_{\text{GEST}} = 0$$

Besoins totaux :

$$\text{Besoins totaux} = 6,92 - 0,36 + 3,96 + 0 = 10,52 \text{ UFL/j (arrondi à 10,5 UFL/j)}$$

0,043 UFL/j/kg $PV^{0,75}$ si la vache est tarie ou en gestation et 0,049 UFL/j/kg $PV^{0,75}$ si elle est en lactation, I_{act} correspond à un index d'activité (1,10 si la vache est en stabulation libre et 1,20 si elle est au pâturage), ΔPV_c correspond à la variation de PV journalière corrigé de l'ingestion, NEC correspond à l'état corporel de la vache (compris entre 1,5 et 3,5 sur 5).

Ainsi une vache multipare en lactation pesant 700 kg et avec une NEC de 2,5, qui mobilise 150 g par jour à l'étable, a des besoins pour faire face aux DNP de 6,92 UFL/j. La mobilisation de 150 g/j de réserves corporelles lui permet ainsi d'épargner environ 0,36 UFL/j soit le contenu énergétique de 0,8 litre de lait produit (encadré 2).

Conclusion

Ce travail a permis de reconsidérer les dépenses énergétiques des vaches allaitantes en se focalisant principalement sur l'énergie des DNP associées à une variation de poids. L'analyse initiale de la bibliographie a souligné en premier lieu la variabilité de la dépense d'entretien autour d'une valeur moyenne de 110, 132, 146 kcal d'EM/kg PV^{0,75} (soit 0,038 ; 0,047 ; 0,050 UFL/kg PV^{0,75} si kls = 0,62) respectivement pour les animaux jeunes, adultes tarées et en lactation. Une base de données « *Beef Cows* » a été constituée et utilisée, avec des données issues des unités expérimentales INRA où les vaches allaitantes avaient été soumises à des conditions alimentaires variables. Son analyse a été réalisée en reprenant les principes d'allocation des ressources proposés par De la Torre *et al* (2015) à partir d'un dispositif de challenge nutritionnel. Les DNP, exprimées en énergie nette (UFL), sont alors calculées pour chaque lot comme étant la différence entre l'énergie nette ingérée et celle des besoins des fonctions de production de lait, de gestation, et de l'énergie nette mesurée des variations de la masse corporelle. L'énergie ingérée ou mobilisée est toujours allouée prioritairement à la production de lait, de l'ordre

de 8 kg de lait par jour, quel que soit le niveau alimentaire subi, en accord avec des résultats qui avaient déjà servis à la détermination des recommandations alimentaires INRA pour les vaches allaitantes (INRA 1978, 1988). La tétée comme mode d'extraction du lait participe aussi très certainement à cette robustesse de la production. Le veau régule son ingestion de lait selon son développement et son potentiel de croissance ce qui contribue à stimuler la mamelle et la production laitière.

L'analyse des variations de poids et de leurs compositions chimiques nous a amenés à identifier séparément la valeur énergétique nette de cette variation et l'énergie supplémentaire associée à son dépôt ou à sa mobilisation. Cette dernière est comptabilisée dans les DNP. La valeur énergétique nette liée à la variation de poids s'élève à 2,4 UFL/kg pour les multipares et seulement à 1,8 UFL/kg pour les primipares. Dans nos données et malgré des variations de poids importantes, la parité des vaches est le seul facteur significatif de la composition du gain ou de la perte sans que la note d'état initiale n'intervienne.

Ces travaux soulignent l'importance des variations des DNP dans le bilan énergétique des vaches allaitantes. Nous

avons montré que les DNP peuvent être prévues par une seule équation dont les variables sont le besoin d'entretien, l'activité, la variation de poids et l'état initial. Cette expression traduit dans son terme interférant négatif ou positif ($\Delta PV_c \times NEC$) les adaptations du métabolisme en situation nutritionnelle contraignante ou pléthorique. Ainsi elle permet d'expliquer plus globalement les facteurs modulant l'efficacité d'utilisation de l'énergie.

Les variations de DNP et leurs nombreux facteurs de variation devront devenir un thème de recherches à mener en lien avec le phénotypage et la sélection d'animaux efficaces. Dans l'idéal, il faudrait quantifier les principales sources de variations entre individus pour les classer sur leurs plus ou moins grandes capacités à réduire leurs DNP. Un lien pourrait alors se construire entre ces indicateurs phénotypiques et le génotype pour développer une stratégie de sélection déterminante pour la durabilité des élevages. Mais en parallèle, puisque les DNP s'estiment aussi par différence, cela nécessite d'améliorer également la précision de mesure des dépenses de production, lait bu et sa composition (cf. Sepchat *et al* 2017, ce numéro), état corporel, variation de poids et sa composition.

Références

- Agabriel J., Petit M., 1987. Recommandations alimentaires pour les vaches allaitantes. Bull. Techn. CRZV Theix, France, 70, 153-166.
- Agabriel J., De La Torre A., 2017. In: INRA Feeding System for Ruminants. Sauvart D., Delaby L., Nozière P. (Eds). Wageningen Academic Publishers., Chap. 3: Beef Cows and Calves. Submitted.
- Agabriel J., Giraud J.M., Petit M., 1986. Détermination et utilisation de la note d'enregistrement en élevage allaitant. Bull. Tech. CRZV Theix, France, 66, 43-50.
- Birkelo C.P., Johnson D.E., Phetteplace H.P., 1991. Maintenance requirements of beef cattle as affected by season on different planes of nutrition. J. Anim. Sci., 69, 1214-1222.
- Brody S., 1945. Bioenergetics and growth. Hafner Pub. Co., New York, 99, 1023.
- Chilliard Y., Rémond B., Agabriel J., Robelin J., Vérité R., 1987. Variations du contenu digestif et des réserves corporelles au cours du cycle gestation-lactation. Bull. Tech. CRZV Theix, France, 70, 117-131.
- Coulon J.B., Rémond B., 1991. Variations in milk output and milk protein in response to the level of energy supply to dairy cow: a review. Livest. Prod. Sci., 29, 31-47.
- De La Torre A., Recoules E., Blanc F., Ortigues-Marty I., D'Hour P., Agabriel J., 2015. Changes in calculated residual energy in variable nutritional environments: an indirect approach to apprehend suckling beef cows' robustness. Livest. Sci. 176, 75-84.
- DiCostanzo A.J.C., Meiske S., Plegge D., 1991. Characterization of energetically efficient and inefficient beef cow. J. Anim. Sci., 69, 1337-1348.
- Diskin M.G., Kenny D.A., 2014. Optimising reproductive performance of beef cows and replacement heifers. Animal, 8, 27-39.
- Faverdin P., Baratte C., Delagarde R., Peyraud J.L., 2011. Grazeln: a model of herbage intake and milk production for grazing dairy cows. 1. Prediction of intake capacity, voluntary intake and milk production during lactation. Grass Forage Sci., 66, 29-44.
- Ferrell C.L., Jenkins T.G., 1984. Energy utilization by mature non pregnant, non lactating cows of different types. J. Anim. Sci., 58, 234-243.
- Ferrell C.L., Jenkins T.G., 1998a. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: I. Angus, Belgian Blue, Hereford, and Piedmontese sires. J. Anim. Sci., 76, 637-646.
- Ferrell C.L., Jenkins T.G., 1998b. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: II. Angus, Boran, Brahman, Hereford and Tulli Sires. J. Anim. Sci., 76, 647-657.
- Freetly H.C., Nianaber J.A., Brown-Brandt T., 2006. Changes in heat production by mature cows after changes in feeding level. J. Anim. Sci., 84, 1429-1438.
- Garcia F., Agabriel J., 2008. CompoCow: a predictive model to estimate variations in body composition and the energy requirements of cull cows during finishing. J. Anim. Sci., 146, 251-265.
- Geay Y., 1984. Energy and protein utilization in growing cattle. J. Anim. Sci., 58, 766-778.
- Hoch T., Agabriel J., 2004. A mechanistic dynamic model to estimate beef cattle growth and body composition: 1. Model description. Agric. Syst. 81, 1-15.
- Hoch T., Jurie C., Pradel P., Cassar-Malek I., Jailler R., Picard B., Agabriel J., 2005. Effects of hay quality on intake, growth path, body composition and muscle characteristics of Salers heifers. Anim. Res., 54, 241-257.
- Hulbert A.J., 2014. A sceptics View: « Kleiber's Law » or the « ¾ rule » is neither a law nor a rule but rather an empirical approximation. Sytems 2, 186-202.
- Inosys Réseau Elevage, 2016. Vaches, surfaces, charges... tout augmente sauf le revenu. Quinze ans de suivi en Bretagne, Pays de la Loire et Deux-Sèvres. Ed. Institut de l'Élevage, <http://idele.fr/reseaux-et-partenariats/inosys-reseaux-elevage/publication/idelesolr/recommends/vaches-surfaces-charges-tout-augmente-sauf-le-revenu.html>

- INRA, 1978. Alimentation des ruminants. INRA Publications, Versailles, France, 621p.
- INRA, 1988. Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA Publications, Versailles, France, 471p.
- INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux - valeurs des aliments, Éditions Quae, Versailles, France, 307p.
- INRA, 2017. INRA Feeding System for Ruminants. Sauvants D., Delaby L., Nozière P. (Eds). Wageningen Academic Publishers. Submitted.
- Jarrige R., 1974. Bases physiologiques de l'alimentation des vaches allaitantes In l'exploitation des troupeaux de vaches allaitantes. N° spécial 6^{ème} journée du Grenier de Theix. Bull. Tech. CRZV Theix, France, 323-343.
- Johnson D.E., 1984. Maintenance requirements for beef cattle: Importance and physiological and environmental causes of variation. In: Proc. Beef Cow efficiency forum. Michigan state University, East Lansing, MI and Colorado State University. Fort Collins, CO. p6.
- Johnson D.E., Ferrell C.L., Jenkins T.G., 2003. The history of energetic efficiency research: Where we have been and where we are going? J. Anim. Sci., 81, 27-38.
- Journet M., Chilliard Y., 1985. Influence de l'alimentation sur la composition du lait - 1- Taux butyreux : facteurs généraux. Bull. Tech. CRZV Theix, France, 60, 13-24.
- Kleiber M., 1947. Body size and metabolic rate. Physiol. Rev., 27, 511-541.
- Korver S., 1988. Genetic aspects of feed intake and feed efficiency in dairy cattle. Livest. Prod. Sci., 20, 1-13.
- Le Neindre P., Dubroeuq H., 1973. Observations sur l'estimation de la production laitière des vaches allaitantes par la pesée du veau avant et après tétée. Ann. Zoot. 22, 413-422.
- Lherm M., Veysset P., Bebin D., 2004. Évolutions constatées depuis 25 ans en exploitations d'élevage bovin charolais dans la zone herbagère Nord Massif central., Colloque SFER, 10p.
- NRC, 2016. Nutrients requirements of beef cattle, 8th Rev. Ed. Natl. Acad. Press, Washington, DC. 494p.
- Martin O., Sauvants D., 2010. 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, 2030-2047.
- Montano-Bermudez M., Nielsen M.K., 1990. Biological efficiency to weaning and to slaughter of crossbred beef cattle with different genetic potential for milk. J. Anim. Sci., 68, 2297-2309.
- Neville W.E., McCullough M.E., 1969. Calculated energy requirements of lactating and non-lactating Hereford cows. J. Anim. Sci., 29, 823-829.
- Old C.A., Garrett W.N., 1987. Effects of energy intake on energetic efficiency and body composition of beef steers differing in size at maturity. J. Anim. Sci., 65, 1371-1380.
- Ortigue I., Petit M., Agabriel J. Vermorel, M., 1993. Maintenance requirements in metabolizable energy of adult, non pregnant, non lactating charolais cows. J. Anim. Sci., 71, 1947-1956.
- Petit M., Agabriel J., 1993. État corporel des vaches allaitantes Charolaises : signification, utilisation pratique et relations avec la reproduction. INRA Prod. Anim., 6, 311-318.
- Reid C.R., Bailey C.M., Judkins. M.B., 1991. Metabolizable energy for maintenance of beef-type Bos taurus and Bos indicus x Bos taurus cows in a dry, temperate climate. J. Anim. Sci., 69, 2779-2786.
- Reynolds C.K., Tyrrell H.F., 2000. Energy metabolism in lactating beef heifers. J. Anim. Sci., 78, 2696-2705.
- Robelin J., 1990. Différenciation, croissance et développement cellulaire du tissu musculaire. INRA Prod. Anim., 3, 253-263.
- Robelin J., Daenicke R., 1980. Variations of net requirements for cattle growth with liveweight, liveweight gain, breed and sex. Energy and protein feeding standards applied to the rearing and finishing of beef cattle. In: Proc. Seminar EEC Prog. Research Beef Prod., 13-16 November 1979, Theix, France, 99-118.
- Roff DA., Fairbairn D.J., 2007. The evolution of trade-off: where we are J. Evol. Biol., 20, 433-477.
- Sauvants D., Assoumaya C., Giger-Reverdin S., Archimède H., 2006. Etude comparative du mode d'expression du niveau d'alimentation chez les ruminants. Renc. Rech. Rum., 13, 103.
- Sauvants D., Nozière P., Ortigue-Marty I., 2017. In: INRA Feeding System for Ruminants. Eds Sauvants D., Delaby L., Nozière P., Wageningen Academic Publishers. Chap. 2: The energy expenditures, efficiency and requirements. Submitted.
- Sepchat B., D'hour P., Agabriel J., 2017. Production laitière des vaches allaitantes : caractérisation et étude des principaux facteurs de variation. In : Élevage bovin allaitant. Agabriel J., Renand G., Baumont R. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 30, 139-152.
- Solis J.C., Byers F.M., Schelling G.T., Long C.R., Greene L.W., 1988. Maintenance requirements and energetic efficiency of cows of different breed types. J. Anim. Sci., 66, 764-773.
- Vermorel M., Bouvier J.C., Geay Y., 1976. The effect of genotype (normal or double muscled Charolais and Friesian) on energy utilization by growing cattle at 2 and 16 months of age. Proc. 7th Symp. Energy Metab., Cambridge, L.E. Mount (Ed), Butterworths, London
- Vermorel M., Coulon J.B., Journet M., 1987. Révision du système des unités fourragères (UF). Bull. Tech. CRZV Theix, France, 70, 9-18.
- Williams C.B., Jenkins T.G., 2003. A dynamic model of metabolizable energy utilization in growing and mature cattle. I. Metabolizable energy utilization for maintenance and support metabolism. J. Anim. Sci., 81, 1371-1381.
- Wright I.A., Russel A.J.F., 1984. The composition and energy content of empty body weight change in mature cattle. Anim. Prod., 39, 365-369.
- Worley A.C., Houle D., Barrett S.C.H., 2003. Consequences of hierarchical allocation for the evolution of life-history traits. Amer. Nat., 161, 153-167.

Résumé

La vache allaitante utilise près de 70% de l'énergie qu'elle ingère pour son besoin d'entretien. L'importance de cette dépense non productive détermine fortement son efficacité d'utilisation de l'énergie. Les nouvelles recommandations alimentaires de l'INRA permettent de mieux quantifier cette dépense non productive afin d'en maîtriser les principaux facteurs de variation. Une base de données a été constituée en regroupant 30 expérimentations, présentant notamment des niveaux alimentaires contrastés (soit au final 101 traitements expérimentaux), menées en stations expérimentales avec des vaches allaitantes. L'énergie des dépenses non productives (E_{DNP}) exprimée en énergie nette (UFL) a été calculée pour chaque traitement comme la différence entre l'énergie nette ingérée et celles des besoins de lactation, de gestation, et des variations de la masse corporelle par estimation de sa composition chimique. La production de lait moyenne est de 8 kg/jour et prioritaire, quel que soit le niveau alimentaire subit. Estimée par sa composition chimique (respectivement 37 et 21% de lipides), la valeur énergétique de la variation de poids s'élève en moyenne à 2,4 UFL/kg pour les multipares et 1,8 UFL/kg pour les primipares. Les dépenses non productives peuvent s'estimer à partir d'une seule équation dont les variables sont le besoin d'entretien ($E_{entretien}$), les conditions d'activité (I_{act}), la variation de poids (ΔPV) et l'état initial au vêlage (NEC) : $E_{DNP} = (E_{entretien} \times I_{act}) + (0,0073 \times \Delta PV_c \times NEC)$. Le terme interférant ($\Delta PV_c \times NEC$) traduit les adaptations du métabolisme en situation nutritionnelle contraignante ou pléthorique. Cette quantification nouvelle de l'épargne énergétique associée à la baisse des apports (ou l'inverse) permettra aux éleveurs de mieux gérer l'alimentation de leurs vaches. Les variations de dépenses non productives et leurs nombreux facteurs de variation devront devenir la cible des recherches dans les années à venir.

Abstract

Feed efficiency of beef cows help to calculate their feeding allowances through the quantification of the non-productive expenses

Beef cows allocate 70% of their energy intake to their maintenance and this expenditure contributes to their efficiency. The revision of the INRA feeding recommendations was intended to quantify the expenditure of energy to obtain an improved control the major variation factors. A database has been compiled, including animals from 30 experiments (101 treatments) carried out on beef cows from the INRA. The energy for non productive functions (E_{DNP}) expressed in net energy for lactation (UFL) was calculated for each treatment as the difference between the energy intake and the energy required for lactation, gestation, and variations of the body mass estimated according to its chemical composition. The average production of milk was low (8 kg/day) but remained a priority regardless of the feeding level. Estimated from chemical composition (37 and 21% of lipids respectively), the energy value of 1 kg of body mass change corresponded to 2.4 and 1.8 UFL/kg for multiparous and primiparous cows, respectively. E_{DNP} can be expressed as a single equation with the following variables are: maintenance ($E_{maintenance}$), physical activity (I_{act}), body weight changes (ΔBW_c) and body condition score at calving (BCS) : $E_{DNP} = (E_{maintenance} \times I_{act}) + (0,0073 \times \Delta BW_c \times BCS)$. The interfering term ($\Delta PV_c \times NEC$) corresponded to the adaptation of constrained metabolism or plethoric nutritional situations. Saving energy associated with lower intake (or vice versa) will allow breeders to optimize feeding planes. The changes in non-productive energy expenditures and their variations should be the purpose of future research.

DE LA TORRE A., AGABRIEL J., 2017. Prendre en compte l'efficience alimentaire des vaches allaitantes dans les recommandations alimentaires à travers la quantification de leurs dépenses non productives. In : Élevage bovin allaitant. Agabriel J., Renand G., Baumont R. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 30, 153-164.

