

Le système d'alimentation INRA 2018 pour les ruminants. 2. Application au rationnement

Pierre NOZIÈRE¹, René BAUMONT¹, Anne BOUDON², Rémy DELAGARDE², Philippe HASSOUN³, Sophie LEMOSQUET²,
Gaëlle MAXIN¹, Bernard SEPCHAT⁴, Luc DELABY²

¹ Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

² PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590, Saint-Gilles, France

³ CIRAD, INRAE, Institut Agro, SELMET, 34060, Montpellier, France

⁴ INRAE, Herbipôle, 63122, Saint-Genès-Champanelle, France

Courriel : pierre.noziere@inrae.fr

■ Le système d'alimentation INRA 2018 pour les ruminants permet d'adopter une démarche de conception multiobjectif et d'évaluation multicritère des rations. Son utilisation s'appuie sur un logiciel de référence INRAtion[®]V5, qui permet de le mettre en œuvre de façon complète et cohérente pour toutes les catégories de ruminants.

Introduction

L'alimentation des animaux constitue un poste stratégique dans le fonctionnement des élevages. En plus des contraintes liées à la disponibilité et la valorisation des ressources fourragères et aux besoins nutritionnels ou physiologiques (santé, bien-être) des animaux, l'éleveur doit intégrer des contraintes environnementales (limiter les rejets aux risques polluants...), des contraintes d'organisation du travail (gestion du pâturage, de l'hétérogénéité des lots d'animaux...), et de débouché des produits (qualité en cohérence avec les besoins des filières...), et bien entendu économiques. Les systèmes d'alimentation ont pour vocation d'aider l'éleveur à résoudre cette complexité pour concevoir les rations.

Le système INRA 2018, dont les bases sont décrites dans l'article compagnon (Nozière *et al.*, 2026), permet non seulement de définir et prévoir les apports alimentaires et les besoins des animaux, mais également les réponses multiples

des animaux aux apports alimentaires. Cette avancée majeure a induit une complexification du système qui rend l'utilisation d'un logiciel de rationnement indispensable à son application pratique. L'objectif du présent texte est de décrire comment ces nouveaux concepts sont intégrés dans un nouvel outil de calcul des rations (INRAtion[®]V5), avec des illustrations pratiques de rationnement rencontrées sur le terrain pour différentes espèces (bovin, ovin, caprin), types de production (lait, viande) et contextes (pâturage, auge).

1. Principes d'application au rationnement du système d'alimentation INRA 2018

Grâce aux évolutions successives du système (voir l'historique dans l'article compagnon Nozière *et al.*, 2026), en particulier à la prise en compte récente des effets d'interactions entre aliments sur les apports nutritionnels, et des lois

de réponses multiples des animaux à ces apports (INRA, 2018), trois grandes applications pour le rationnement sont désormais possibles avec le système INRA 2018 (figure 1) :

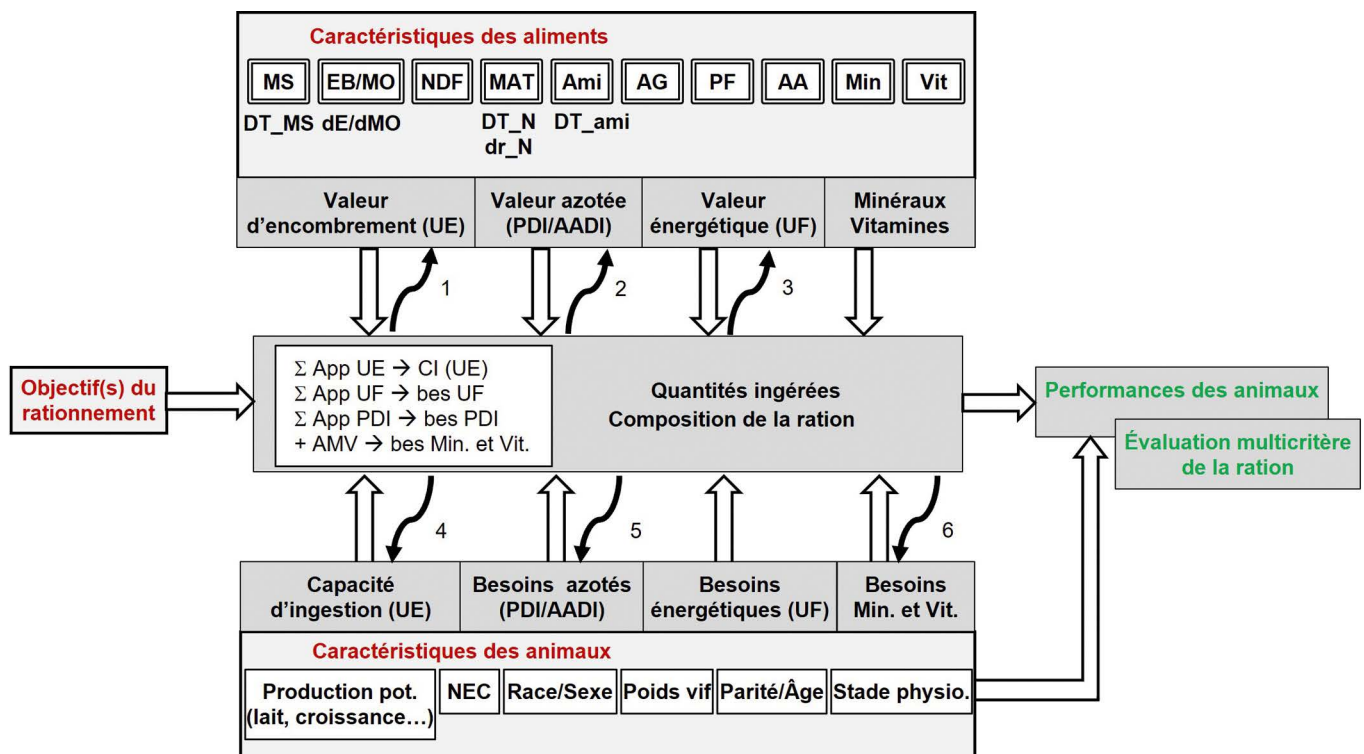
i) calculer une ration qui satisfait les performances de production potentielle (appelée aussi de référence lors du calcul de la ration) des animaux (ou du troupeau) ;

ii) formuler une ration qui s'éloigne de la référence et vise à trouver un compromis entre divers objectifs (c.-à-d. production, variations des réserves corporelles, efficacité d'utilisation des protéines) définis à l'avance ;

iii) simuler les différentes réponses attendues (production, efficacité, rejets, qualité, santé) à une ration imposée *a priori*.

En pratique, les calculs sont effectués par le moteur du logiciel de rationnement INRAtion[®]V5. Les parties suivantes illustrent l'architecture de cet outil, puis proposent des exemples d'applications possibles du système pour différents types et contextes de production.

Figure 1. Le principe du système de calcul et d'évaluation des rations en fonction des caractéristiques des animaux et des aliments, et des objectifs du rationnement.



Les abréviations sont définies dans la liste à la fin de l'article.

Les apports en UE saturent la capacité d'ingestion des animaux ; les apports en UF, PDI et AADI convergent vers les besoins des animaux définis par leurs caractéristiques propres (potentiel), et modulés par les objectifs de l'éleveur ; l'AMV (aliment minéral et vitaminique) complète les apports pour couvrir les recommandations en vitamines et minéraux. Les rations calculées sont évaluées au regard des performances attendues et des autres indicateurs (rejets, coût, qualité, santé...).

Les flèches noires et courbes indiquent les régulations mises en œuvre, et les « voir section » de la légende renvoient aux sections concernées du texte compagnon (Nozière *et al.*, 2026) : 1) substitution fourrage/concentré (affectées à la valeur UE du concentré) et effets des conditions de pâturage (affectées à la valeur UE de l'herbe pâturée) (voir section 2.4) ; 2 et 3) effets du niveau d'ingestion, de la proportion de concentré et de la balance protéique du rumen sur la valeur PDI/AADI (via le transit sur les PDIA et la matière organique fermentescible sur les PDIM) et UF (via les interactions digestives sur la dMO, et les pertes d'énergie urinaire et sous forme de méthane) (voir section 2.3) ; 4) effets du niveau azoté sur la CI (voir section 3.1) ; 5) effet de l'ingestion sur les besoins PDI associés à l'endogène fécal (voir section 3.2.a) ; 6) effets de la ration sur les besoins et recommandations en vitamines et minéraux (voir section 3.2.b).

2. Architecture du logiciel INRAtion®V5

Le système d'alimentation INRA est intégré depuis 1989 (Coulon & Agabriel, 1992) dans un logiciel de rationnement (INRAtion®, puis INRAtion®V5) utilisé par l'enseignement et la recherche, et également par une grande partie des conseillers d'élevage. Le logiciel INRAtion®V5 est développé en partenariat avec un consortium de 38 structures de conseil en élevage du réseau Eliance (via l'association SIEL), qui regroupent près des deux tiers du cheptel bovin laitier en France. Il est distribué sous forme de licences (<https://www.inra-tion-ruminal.fr/>), en français, anglais, et polonais (traductions en espagnol et en portugais prévues). Ce logiciel est constitué d'un module de prévision de la valeur des aliments (PrévAlim), dont

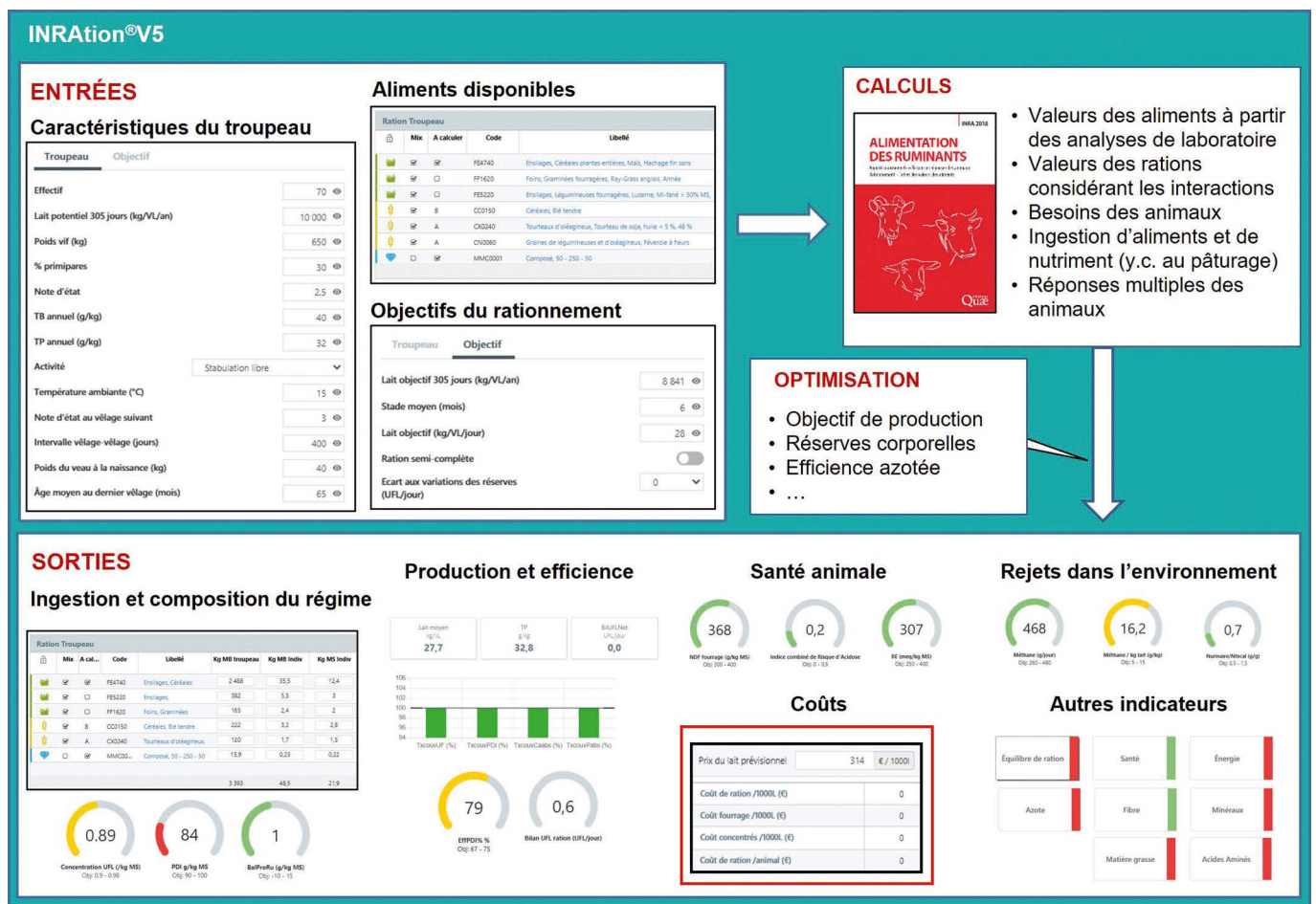
la première version a été développée en 1999 (Baumont *et al.*, 1999), d'un module de calcul et d'optimisation des rations (vaches, brebis et chèvres laitières, vaches allaitantes et de réforme, bovins en croissance et à l'engrais), d'un module d'optimisation de la formule minérale, et d'un module d'évaluation des rations (figure 2). Dans le cadre du partenariat avec SIEL, des applications additionnelles ont été conçues par les conseillers d'élevage pour des besoins spécifiques du terrain, et embarquées dans une version du logiciel appelée « Rumin'al ». Il s'agit en particulier du plan de complémentation individuelle pour les vaches laitières, de l'analyse économique de la ration, de la gestion et de la prévision des stocks d'aliments, et des éditions pour l'éleveur. Ce partenariat permet également d'assurer un dialogue dans la durée avec les conseillers d'élevage. Il est ainsi possible, sur la

base de données précises et objectives observées sur le terrain, d'affiner le paramétrage des modèles ou d'élargir leur champ d'application.

■ 2.1. Le module de prévision de la valeur des aliments (PrévAlim)

Le module PrévAlim permet de calculer pour la plupart des aliments (fourrages et concentrés), à partir des analyses de laboratoire, leur valeur alimentaire exprimée dans les unités du système INRA 2018 ainsi que tous les paramètres nutritionnels nécessaires au calcul des rations selon les références INRA 2018. Les calculs sont conduits avec les équations publiées dans l'ouvrage (INRA, 2018) en s'appuyant sur un aliment de référence de la table INRA choisi par l'utilisateur. En fonction des informations saisies par l'utilisateur – éléments de composition

Figure 2. Le logiciel INRAtion®V5



chimique, digestibilité et dégradabilité enzymatiques... – le logiciel applique les équations les plus pertinentes et complète les informations manquantes à partir des valeurs de la table INRA. En plus des aliments de la table INRA, le logiciel permet de prévoir la valeur de mélanges de fourrages constitués de deux fourrages simples de la table, ainsi que la prévision des aliments concentrés composés du commerce à partir de leur analyse chimique, notamment lorsque les proportions des matières premières ne sont pas connues. Les sorties du module PrévAlim sont stockées dans un catalogue « utilisateurs » intégré dans le logiciel INRAtion permettant l'utilisation de ces aliments, en complément de ceux de la table INRA, pour calculer des rations.

2.2. Le module de calcul et d'évaluation des rations

Le module de calcul des rations nécessite en entrée une description des éléments suivants :

i) le contexte, c.-à-d. les caractéristiques des animaux et du troupeau permettant le calcul des besoins des animaux sur leur trajectoire (production de lait ou courbes de croissance) de référence (voir section 4.1 de l'article compagnon, Nozière *et al.*, 2026) ;

ii) les objectifs du rationnement, qui peuvent différer de la trajectoire de référence, en particulier en ce qui concerne la production ou la gestion des réserves corporelles ;

iii) les aliments disponibles (issus des tables INRA et du catalogue « utilisateurs ») et leur mode de distribution (quantité fixée *vs ad libitum* pour les fourrages, contrainte éventuelle sur le taux d'inclusion minimal et/ou maximal).

Pour les vaches laitières, lorsque les animaux sont au pâturage, les caractéristiques de la prairie (surface de la parcelle, biomasse ou hauteur d'herbe à l'entrée des animaux dans la parcelle) et de son exploitation (système de pâturage continu, tournant ou au fil, objectif de hauteur d'herbe en sortie de parcelle,

temps d'accès quotidien au pâturage, temps de séjour sur la parcelle...), nécessaires à la prévision de l'ingestion, font l'objet d'un module spécifique supplémentaire, avec en sortie des recommandations de gestion du pâturage. Pour les brebis laitières, un module simple basé sur le temps de présence au pâturage, la biomasse disponible par brebis et la qualité du couvert (teneur en matières azotées totales, MAT) permet également d'estimer l'ingestion.

Le moteur de calcul, par le biais de boucles itératives successives, prend en compte les processus de substitution, d'interactions entre aliments et de réponse productive des animaux, pour proposer, à partir des aliments disponibles, des rations correspondant aux objectifs. Les spécificités pour chacune des espèces et productions sont présentées dans le [tableau 1](#). Dans la mesure où plusieurs solutions sont possibles, un algorithme d'optimisation permet de prioriser un nombre limité de solutions dans une optique de compromis entre

Tableau 1. Spécificités des modules de rationnement par espèce et type de production dans INRAtion®V5 : mode d'alimentation, facteurs pris en compte pour prévoir l'ingestion et les réponses productives, et fonction objectifs mise en œuvre pour l'optimisation.

	Vaches laitières	Vaches allaitantes	Bovins en croissance et à l'engrais	Brebis laitières	Chèvres laitières
Mode d'alimentation	Animal à l'auge ou au pâturage ; PCG ^a	Animal à l'auge		Lot à l'auge ou au pâturage	Lot à l'auge
Prévision de l'ingestion	UEL	UEB		UEM	UEL
Substitution fourrage vs concentré	PCO ; UFLf UELf	PCO ; UEbf		UEMf	PCO
Densité protéique de la ration	PDI/UFL	-			MAT
Caractéristiques du pâturage	Disponibilité (temps, biomasse, hauteurs, système de pâturage)	-		Accessibilité (temps, biomasse) et qualité (MAT)	-
Lois de réponses productives	PDI x UFL ; LysDI ; MetDI	-	UFV ou UFL	-	
Objectifs pour l'optimisation	PL ; bilan UFL ; BPR ; EffPDI	PL ; bilan UFL ; BPR ; EffPDI	GMQ ; BPR ; EffPDI	PL ; bilan UFL ; BPR ;	Idem brebis laitières (en cours)

Les abréviations sont définies dans la liste à la fin de l'article.

^a PCG : Plan de complémentation général (apport de concentré distribué à l'ensemble du lot d'animaux).

objectifs. Dans le cas d'INRAtion®V5, il s'agit du compromis entre l'objectif de production (lait ou croissance), la gestion des réserves corporelles (bilan UFL), l'équilibre entre azote et énergie disponibles pour les microorganismes dans le rumen (BPR) et l'efficacité métabolique des PDI (EffPDI).

Pour chacune des solutions proposées par l'algorithme d'optimisation, un module « Minéral » permet soit de calculer la formule d'un aliment minéral et vitaminique (AMV) dit d'équilibre, soit de choisir, parmi une liste d'AMV issue de la table des aliments d'INRAtion®V5 ou fournie par l'utilisateur, celui ou ceux permettant la meilleure couverture des besoins en minéraux absorbables (P_{abs} , Ca_{abs} et Mg_{abs}). Pour chaque AMV retenu sur la base du ratio Ca_{abs}/P_{abs} des AMV par rapport au défaut de couverture par la ration de base, les quantités d'AMV à fournir sont calculées de façon à couvrir les besoins en P_{abs} si les AMV contiennent du P, ou en Ca_{abs} s'ils n'en contiennent pas. Pour ces calculs, une hypothèse d'absorbabilité de P et de Ca de respectivement 0,65 et 0,40 est retenue.

Si l'utilisateur a fourni une liste d'AMV, les AMV sont aussi retenus sur un critère complémentaire de couverture des besoins en Mg_{abs} . Dans le cas contraire, des teneurs conseillées en Mg sont proposées pour chaque AMV d'équilibre retenu. Dans tous les cas, des teneurs conseillées pour tous les autres minéraux d'intérêt nutritionnels sont fournies.

Enfin, au-delà de la prévision des quantités ingérées et de la composition de la ration proposée, le module d'évaluation des rations permet d'évaluer les rations calculées sur différentes dimensions : taux de couverture des besoins énergétiques, efficacité d'utilisation des protéines, indicateurs du bien-être digestif, émissions de méthane (CH_4) et d'N dans l'environnement, coût, etc.

3. Exemples d'applications

■ 3.1. La vache laitière alimentée en bâtiment

Chez la vache laitière, depuis 2018, l'existence d'une loi de réponse de la

production de lait et des matières protéiques aux apports nutritifs (UFL et PDI) ouvre de multiples perspectives dans l'approche du rationnement. Au-delà de la satisfaction stricte des besoins individuels, il est possible *i)* d'évaluer l'influence d'une ration complète mélangée unique pour toutes les vaches, *ii)* d'évaluer l'influence d'un apport de concentré fixe ou *iii)* de calculer une ration pour un objectif de production laitière différente de celle observée. Ces diverses situations et les démarches associées sont exposées ci-après.

Le calcul de la ration commence par la caractérisation de l'animal concerné, et notamment son poids, sa production laitière potentielle au pic de lactation (PL_{MaxPot}) ou sur la lactation totale ($PL_{Pot-305j}$), sa semaine de lactation, et la composition du lait. Pour bien utiliser le module d'optimisation de la ration, il est nécessaire de définir une production laitière potentielle supérieure de 6 à 8 % à la production observée en élevage lors de la même semaine de lactation. Ainsi, par exemple, en semaine 22 de lactation,

Tableau 2. Exemples de rations selon diverses approches et objectifs de rationnement des vaches laitières.

Ration	A	B	C	D
Approches/objectifs de rationnement	À la production observée	Ration complète	Concentré constant prédéterminé	Inférieure à la production observée
Aliments disponibles				
Ensilage d'herbe	5,0 kg MS/j	25 %	5,0 kg MS/j	5,0 kg MS/j
Ensilage de maïs	À volonté	50 %	À volonté	À volonté
Orge	Au choix	10 %	/	Au choix
Tourteaux soja + colza	Au choix	15 %	3,0 kg MS/j	Au choix
Production de lait objectif (kg/j)	30,3	30,3	30,3	28,3
Ingestion (kg MS/j)				
Totale	22,9	22,9	21,0	21,7
Ensilage d'herbe	5,0	5,7	5,0	5,0
Ensilage de maïs	11,8	11,3	12,7	12,0
Orge	3,00	2,25	/	2,70
Tourteaux soja + colza	2,80	3,40	3,00	1,80
AMV 0/250 ⁽¹⁾ ou 15/300 ⁽²⁾ (g/j)	310 ⁽¹⁾	300 ⁽¹⁾	280 ⁽¹⁾	220 ⁽²⁾
Valeur de la ration (/kg MS)				
UFL	0,90	0,90	0,91	0,90
MAT (g)	146	157	150	131
PDI (g)	87	91	87	82
BPR (g)	7	13	11	-2
Production laitière, bilan UFL, efficacité d'utilisation des PDI et de l'N, et indicateurs environnementaux				
Lait (kg/j)	30,3	30,9	28,6	28,3
Bilan UFL (UFL/j)	+0,60	+0,45	-0,10	+0,35
Efficacité PDI (g/g)	0,75	0,72	0,76	0,80
N lait/N ingéré (g/g)	0,281	0,266	0,282	0,311
CH ₄ (g/j)	454	456	436	443
N fécal (g/j)	174	178	160	161
N urinaire (g/j)	155	187	150	105

Les abréviations sont définies dans la liste à la fin de l'article.

Caractéristiques des vaches : vache multipare – 650 kg – âge au vêlage : 44 mois – 22^e semaine de lactation – PL_{MaxPot} : 42,5 kg – PL/TB/TP potentiels en S22 : 32,2 kg / 39,2 g/kg / 31,4 g/kg – variation potentielle des réserves : +0,54 UFL.

Aliments retenus (Tables INRA 2018) : ensilage de maïs FE4720 / ensilage d'herbe FE4070 / orge CC0010 / tourteaux de soja et colza CX240 (50 %) et CX0200 (50 %).

une vache produisant 30,3 kg de lait, ce qui sera généralement le lait objectif de la ration, aura une PL_{Pot} dite « de référence » (au potentiel, en semaine 22) de 32,2 kg de lait, soit une PL_{MaxPot} au pic de lactation de 42,5 kg de lait, correspondant pour une vache multipare à une lactation (PL_{Pot} 305j) d'environ 9 750 kg de lait. La définition d'une PL_{Pot} supérieure à la PL observée est rendue nécessaire

par le fait que les conditions d'élevage ne sont le plus souvent pas optimales, notamment pour maximiser l'ingestion (absence de refus, accès à l'auge, confort du bâtiment, quantités d'herbe offertes au pâturage.). Cela n'empêche nullement l'utilisateur de vouloir calculer une ration qui exprime cette PL_{Pot} mais pas au-delà car les lois de réponse ne sont alors plus cohérentes.

Les objectifs de production ou de ration sont ensuite définis par l'utilisateur (tableau 2). La ration A correspond à une ration individualisée avec un apport d'ensilage d'herbe fixé à 5 kg de MS et d'ensilage de maïs offert à volonté et pour laquelle l'utilisateur cherche à optimiser l'apport de concentré énergétique (orge) et protéique (tourteaux de soja et de colza). La ration B est une ration

complète, de composition connue, et pour laquelle INRAtion®V5 calcule les quantités ingérées, les apports nutritifs et la production laitière attendue, pour la vache concernée. Le cas C correspond à une situation où l'éleveur fixe *a priori* l'apport de concentré, en laissant l'ensilage de maïs à volonté et souhaite évaluer les conséquences sur l'ingestion et les performances animales. Enfin, le cas D vise à évaluer la réponse de la vache lorsque l'objectif de production est en deçà du lait observé (28,3 kg au lieu de 30,3 kg), avec un principe de rationnement similaire à la ration A (ingestion d'ensilage de maïs à volonté, apport de concentrés à calculer en accord avec l'objectif de production).

Le logiciel INRAtion®V5 va alors combiner les divers aliments en intégrant d'une part la capacité d'ingestion (CI) de la vache et le taux de substitution, et d'autre part les besoins UFL et PDI associés à la production potentielle (ici 32,2 kg de lait en semaine 22). Selon l'écart entre les besoins UFL et PDI à la PL potentielle, et les apports permis par la ration prédéfinie ou calculée, le logiciel intègre la réponse de l'animal aux bilans UFL et PDI théoriques, et propose à l'utilisateur une ration optimisée, ainsi que les performances attendues, les plus proches possibles de l'objectif fixé par l'utilisateur.

Les apports en LysDI et MetDI, qui sont pris en compte dans le calcul des réponses (synthèse de protéines et taux protéique du lait, efficacité des PDI), sont ensuite évalués. Dans le cas des quatre rations proposées, ils sont compris entre 6,75 et 6,80 % (LysDI) et entre 1,96 et 2,00 % (MetDI), valeurs proches des recommandations (LysDI = 7,0 % PDI et MetDI = 2,4 % PDI). Le gain de TP attendu par un apport supplémentaire de MetDI, ou de MetDI et LysDI, ne serait que de 0,4 ou de 0,8 g/kg, respectivement. Il n'est donc ici pas justifié de rééquilibrer la ration en AADI.

Une fois la ration finalisée, à la demande de l'utilisateur et compte tenu des performances attendues, INRAtion®V5 vérifie les apports en Ca_{abs} et P_{abs} pour rechercher dans la liste des AMV d'équilibre, le ou les AMV susceptibles de couvrir au mieux les besoins

en ces éléments. Pour les rations A, B et C, la quantité de tourteau de colza riche en P suffit à couvrir les besoins en P_{abs} ; un apport d'AMV 0/250 (0 et 250 g/kg de P et de Ca respectivement) est recommandé pour couvrir les besoins en Ca_{abs} , et selon les rations, une teneur en Mg de l'AMV 0/250 comprise entre 55 et 70 g/kg est recommandée. Seule la ration D, qui contient moins de tourteaux, justifie l'emploi d'un AMV de type 15/300 (15 g/kg de P, 300 g/kg de Ca) avec une teneur recommandée en Mg de 95 g/kg.

■ 3.2. La vache laitière alimentée au pâturage

Au pâturage, les objectifs de calcul de ration divergent souvent de ceux du rationnement à l'auge, du fait que beaucoup de variables sont mal connues, voire inconnues, comme la valeur alimentaire de l'herbe effectivement consommée ou la quantité d'herbe disponible sur la parcelle à pâturer (biomasse par hectare ou hauteur d'herbe). De plus, la composition botanique des prairies, leur qualité, la hauteur d'herbe en entrée de parcelle et la sévérité du pâturage choisie par l'éleveur (hauteur d'herbe en sortie de parcelle par exemple) sont différentes à chaque fois que les vaches changent de parcelle, ce qui ne permet pas de faire des calculs prévisionnels sur plusieurs semaines. D'un point de vue pratique, il n'est pas question de proposer des modifications de rations et de complémentation en concentrés à chaque changement de parcelle, voire entre le début et la fin d'une parcelle. Il s'agit donc principalement de raisonner les grandes stratégies de pilotage du pâturage et de la complémentation en fonction des objectifs des éleveurs.

Le module pâturage des vaches laitières de INRAtion®V5 permet d'intégrer les facteurs de variation de l'ingestion spécifiques au pâturage (système de pâturage, disponibilité en temps, disponibilité en herbe, interactions avec la complémentation); ces facteurs ont un impact important – même lorsque les vaches ne sortent que quelques heures par jour – dans l'estimation des apports nutritifs et donc des réponses de production des

vaches. Utiliser le module pâturage de INRAtion®V5 permet de calculer une ration comme à l'auge, mais aussi de calculer les repères de gestion du pâturage pour atteindre les objectifs définis par l'utilisateur (par exemple, calcul du temps de séjour sur la parcelle pour atteindre un objectif de hauteur d'herbe en sortie de parcelle, ou calcul de la hauteur d'herbe en sortie de parcelle pour un temps de séjour fixé). Au final, la valorisation de l'herbe et la production laitière sont aussi évaluées par hectare (module « Analyse pâturage »), permettant de raisonner conjointement la stratégie d'alimentation du troupeau et la conduite du pâturage, point essentiel à la réussite économique et technique d'un système herbager basé sur le pâturage.

Les exemples de rations donnés au [tableau 3](#) correspondent à différentes façons d'envisager un calcul de ration au pâturage, selon des moments clés du pâturage. La ration A correspond à une période de transition en début de printemps ou à un système avec très peu de surface accessible (< 10-15 ares/vache), avec une herbe de faible hauteur, un fort niveau de complémentation en ration complète à l'auge et un faible temps d'accès au pâturage où l'éleveur cherche à quantifier la dose et la nature du concentré à apporter pour couvrir 90 % de la production potentielle théorique. L'objectif est le même dans la ration B, mais en plein printemps, avec une herbe de qualité, du pâturage nuit et jour et un pâturage de type libéral pour maximiser l'ingestion par vache. Les rations C et D correspondent à des scénarios pour lesquels il n'y a pas d'objectif de production de lait à couvrir *a priori*. Dans la ration C, au printemps, en situation de pâturage sévère pour optimiser la production et la valorisation par hectare, en étant économe en concentrés pour minimiser le coût alimentaire, l'objectif est de déterminer l'ingestion et le niveau de production permis par ces conditions d'alimentation. Dans la ration D, en été, avec un troupeau en fin de lactation, une herbe de qualité moyenne et des conditions de pâturage sévères, il s'agit d'évaluer la production laitière possible pour une quantité distribuée faible et fixe de concentré.

Tableau 3. Exemples de rations pour des vaches laitières au pâturage selon diverses stratégies.

Ration	A	B	C	D
Stratégie et objectif	Transition hivernale ou surface accessible faible	Faire du lait par vache au printemps	Produire économe au printemps	Fin de lactation en été
Stratégie de complémentation	Ensilage de maïs fixe, concentrés à calculer		Aucun complément	Concentré fixe
Stade de lactation (semaines)	22		40	
Lait potentiel (kg/j)	32,2		20,4	
Lait objectif (kg/j)	90 % PL _{Pot}		/	
Herbe pâturée	FV0010		FV0160	FV1170
Conditions de pâturage				
Accès au pâturage (h/j)	5		20	
Hauteur d'herbe en entrée de parcelle (cm)	8		12	16
Hauteur d'herbe objectif en sortie de parcelle (cm)	4	6	5	6
Ingestion (kg MS/j)				
Totale	20,6	19,5	16,7	16,0
Herbe pâturée	7,3	13,0	16,7	14,0
Ensilage de maïs	10,0		5,0	0
Orge	3,3	1,5	0	2,0
Tourteau de colza	0,0		0	
Valeur de la ration (/kg MS)				
UFL	0,96	1,00	1,06	0,83
MAT (g)	131	139	166	131
PDI (g)	81	97	95	81
BPR (g)	0	1	19	0
Production laitière, bilan UFL, efficacité d'utilisation des PDI et de l'N, et indicateurs environnementaux				
Lait (kg/j)	29,4	29,6	28,2	16,3
Bilan UFL (UFL/j)	0,0	-0,4	-1,6	-2,3
Efficacité PDI (g/g)	0,80	0,76	0,72	0,69
N lait/N ingéré (g/g)	0,328	0,266	0,301	0,254
CH ₄ (g/j)	451	445	403	336
N urine (g/j)	106	115	156	104
N fécal (g/j)	151	144	126	119
Gestion du pâturage				
Taux de saturation de la capacité d'ingestion (%)	94	100	88	88
Temps de séjour (j)	6,6	4,9	5,0	8,5
Herbe ingérée (kg MS/ha)	1 204	1 607	2 105	2 978
Lait produit (kg/ha)	4 883	3 650	3 559	3 451

Les abréviations sont définies dans la liste à la fin de l'article.

Caractéristiques moyennes des vaches : vaches multipares – 650 kg – âge au vêlage : 44 mois – 22^e semaine de lactation – PL_{MaxPot} : 42,5 kg – PL/TB/TP potentiels en S22 : 32,2 kg / 39,2 g/kg / 31,4 g/kg – variation potentielle des réserves : +0,54 UFL ; troupeau de 50 vaches ; parcelle de 2 ha ; hauteurs mesurées avec un herbomètre à plateau.

Aliments retenus (Tables INRA 2018) : ensilage de maïs FE4720 / orge CC0010 / tourteau de colza CX0200 / prairie permanente de plaine 1^{er} cycle FV0010 / prairie permanente de demi-montagne 1^{er} cycle FV0160 / fétuque 2^e cycle FV1170.

■ 3.3. Les bovins en croissance ou à l'engrais

Le rationnement des animaux en croissance ou à l'engrais est adapté à l'animal moyen d'un lot. Les principes mis en œuvre pour calculer des rations sont les mêmes quelles que soient les catégories d'animaux (bovins en croissance ou en finition). La capacité d'ingestion, la composition corporelle et la composition chimique du gain de poids en protéines et lipides (et donc les besoins UF et PDI d'entretien et de croissance associés) sont déterminées par le modèle de croissance et d'engraissement (disponible par catégorie d'animal). Les apports énergétiques recommandés sont alors calculés par catégorie selon le poids et le gain moyen quotidien (GMQ), et exprimés en UFL si le GMQ est inférieur à 1 000 g/j, ou en UFV s'il est supérieur à 1 000 g/j.

Lorsque l'objectif de croissance (GMQ) est fixé, une fonction d'optimisation va permettre de calculer les quantités de MS à apporter à partir d'un choix d'aliments disponibles. L'optimisation de la ration vise à atteindre l'objectif de croissance en saturant la CI par l'apport de fourrage et en modifiant l'apport de concentré (quantité et composition) pour couvrir les besoins énergétiques, tout en déterminant un minimum d'apport azoté pour garantir une bonne efficacité d'utilisation des PDI (EffPDI) et valoriser la capacité des animaux à recycler l'azote dans le rumen. Les compléments minéraux et vitaminiques éventuellement nécessaires sont alors calculés. Le calcul des besoins UF se fait par rapport à l'objectif de GMQ, les apports optimisés permettant un GMQ voisin du GMQ recherché (exemple A [tableau 4](#)). Si les aliments choisis ne permettent pas d'atteindre l'objectif de GMQ, le calcul se fait par rapport au GMQ réalisable (exemple B), sur la base des apports énergétiques permis par la ration.

À l'inverse, lorsque la ration de l'animal est connue et/ou fixée, le modèle permet d'estimer le gain de poids permis par l'énergie ingérée après s'être assuré de son ingestion effective (encombrement \leq CI). Le logiciel calcule alors le GMQ permis par les apports (exemples C et D).

■ 3.4. L'alimentation en lots des brebis laitières

Les élevages de brebis laitières sont généralement constitués d'un grand nombre d'animaux (plusieurs centaines) alimentés en deux voire en trois lots physiques. En plus de l'alimentation commune en bergerie, les brebis reçoivent un complément alimentaire (céréales et/ou tourteaux) en salle de traite qui peut être individualisé si les éleveurs sont équipés d'un DAC (distributeur automatique de concentrés). Le rationnement est appliqué pendant la période d'élevage en bergerie avec un accès plus ou moins long au pâturage selon la saison. L'ingestion d'herbe au pâturage n'est pas à calculer comme pour les vaches laitières, car l'ingestion à volonté des brebis laitières au pâturage n'est pas connue. L'herbe pâturée est considérée comme un fourrage apporté en quantité fixe, l'ingestion étant estimée selon des grilles à partir de trois critères de disponibilité : le temps d'accès journalier au pâturage (h/j), la quantité d'herbe offerte par brebis et par jour (cinq classes, de restreinte à non limitante), et la teneur en MAT de l'herbe pâturée (quatre classes, de médiocre à excellente). C'est alors le fourrage distribué en bâtiment qui est à calculer.

Pour établir une ration, lorsque la production individuelle n'est pas connue, on suppose une distribution théorique de la PL selon une loi normale centrée sur la production laitière moyenne du troupeau. Puis, pour couvrir les besoins de la majorité des brebis du troupeau, l'utilisateur définit la brebis cible (animal pour lequel on établira la ration) soit sur la base de la moyenne plus un écart-type, soit en décidant arbitrairement d'un autre niveau de PL supérieur à la moyenne. Lorsque l'éleveur adhère au contrôle laitier, le choix de la brebis cible peut être alors plus précis parce que la production individuelle (et donc la distribution) est connue. Le calcul des besoins de production se fait sur la production de lait standardisée (PLs) observée ou objective (Bocquier *et al.*, 1993). La stratégie consiste à établir une ration constituée d'un fourrage distribué à volonté plus éventuellement d'autres fourrages distribués en quantité limitée, et d'une complémentation

en concentré pour couvrir les besoins (entretien et PLs cible calculée sur les taux moyens du lot ou de l'individu) en PDI et en UFL de cette brebis cible, en prenant en compte soit une mobilisation des réserves corporelles (les deux premiers mois de lactation), soit une reconstitution de ces réserves après le deuxième mois de lactation. La quantité de concentré calculée pour la brebis cible est alors distribuée à toutes les brebis quel que soit leur niveau de PL (à l'auge ou au DAC installé en salle de traite), et le fourrage est distribué à volonté et donc ingéré par chaque individu selon sa propre CI. Avec cette stratégie, les besoins de toutes les brebis dont le niveau de PL correspond à la brebis cible seront couverts. Les besoins de celles dont la PL est supérieure ne seront pas couverts à 100 % (environ 15 % du troupeau) et les besoins de celles dont la PL est inférieure seront largement couverts. En plus de la brebis cible, on définit une brebis « faible » (représentant les 10 % des brebis les moins productives du lot). La ration ingérée (en particulier les aliments concentrés) par la brebis faible sert donc à calculer l'indice global de risque d'acidose (voir section 4.3 de l'article compagnon, Nozière *et al.*, 2026), car cette brebis « faible » est largement suralimentée en concentrés. L'outil de rationnement possède deux modes d'approche : le mode calcul (l'ingestion de MS est calculée par le logiciel) et le mode constat (l'ingestion de MS de tous les aliments est renseignée par l'utilisateur). Le premier permet de calculer les quantités et la nature des aliments concentrés à apporter au lot pour couvrir les besoins énergétiques et protéiques d'une production laitière objective. La prise en compte des interactions digestives dans le nouveau modèle conduit à des rations qui valorisent mieux les fourrages et limitent l'apport en concentrés, pour des résultats zootechniques (production et composition du lait, poids et NEC) similaires sur plusieurs semaines de mesure (Hassoun *et al.*, 2022). Le second mode d'approche permet de vérifier si les aliments de la ration distribuée permettent de couvrir les besoins d'une production laitière observée. Ce dernier cas donne ainsi la possibilité de corriger la valeur des fourrages (si on considère qu'il y a eu une mauvaise

Tableau 4. Exemples de rations pour des bovins en croissance en fonction du type d'animal, des objectifs, et de la stratégie de complémentation.

Ration	A	B	C	D
Type d'animal	Taurillon charolais Engraissement	Génisse Salers Vêlage 3 ans	Génisse Holstein Vêlage 2 ans	Génisse Salers Vêlage 2 ans
Stratégie de complémentation	Mélange ensilage de maïs – ensilage herbe (50-50) à calculer ; Céréale à calculer ; Tourteau de colza à calculer	Foin à calculer ; Aucun complément	Ensilage de maïs fixé ; Tourteau de colza fixé	Foin fixé ; Concentré fixé
Poids (kg)	500	400		
Âge (mois)	14			12
GMQ objectif (kg/j)	1,600	0,800	/	
Ingestion (kg MS/j)				
Totale	9,0	7,1	9,5	7,7
Ensilage de maïs	2,1	0	8,5	0
Ensilage d'herbe	2,1	0		
Foin de prairie permanente 1 ^{re} coupe	0	7,1	0	6,8
Blé	4,4	0		0,7
Tourteau de colza	0,4	0	1,0	0,2
Valeur de la ration (/kg MS)				
UFL ou UFV ^a	0,99	0,72	0,93	0,76
MAT (g)	123	142	105	146
PDI (g)	80	83	81	87
BPR (g)	-7	9	-16	10
Croissance permise, bilan UFL, efficacité PDI, densité énergétique, et indicateurs environnementaux				
GMQ permis (kg/j)	1,600	0,500	1,390	0,800
Bilan UFL ou UFV (UF/j) ^a	0		+1,8	0
Efficacité PDI (g/g)	0,67	0,48	0,53	0,51
Densité énergétique (UF/UEB)	1,07	0,68	1,01	0,76
CH ₄ (g/j)	221	143	219	163
N urine (g/j)	85	87	77	99
N fécal (g/j)	63	55	67	59

Les abréviations sont définies dans la liste à la fin de l'article.

Aliments retenus (Tables INRA 2018) : ensilage de maïs FE4720 / ensilage d'herbe FE4070 / foin de prairie permanente 1^{re} coupe FF0050 / tourteau de colza CX0200.

^a En UFV pour la ration A, en UFL pour les rations B, C et D.

estimation des valeurs alimentaires) ou de vérifier que les quantités distribuées sont correctes. Le **tableau 5** représente deux exemples de rations en début de traite pour des brebis multipares de race Lacaune ou Basco-béarnaise, avec utilisation du pâturage pour cette dernière (pratique courante pour cette race).

Lorsque l'éleveur adhère au CL et dispose d'un DAC, il a la possibilité de distribuer individuellement, un, deux, voire trois aliments concentrés différents *via* l'identification électronique individuelle des brebis. Cet outil couplé à INRAration[®]V5 permet de créer des lots virtuels ayant une PL comparable

au sein de chaque lot. Il est alors possible de constituer autant de rations que de lots en choisissant le niveau de PL cible à l'intérieur de chaque lot. Cela permet de mieux ajuster les apports aux besoins (surtout des brebis les moins productives), de prendre en compte une mobilisation ou une reconstitution

Tableau 5. Exemple de rations pour des brebis laitières multipares de race Lacaune et Basco-béarnaise en début de traite (45 jours de lactation). La stratégie de complémentation consiste à couvrir les besoins de la brebis cible.¹

Race	Lacaune			Basco-béarnaise		
Type d'animal (niveau de production) ^a	Brebis Cible	Brebis Moyenne	Brebis Faible	Brebis Cible	Brebis Moyenne	Brebis Faible
Poids (kg)	75			60		
Production laitière brute (l/j)	3,9	3,0	1,8	2,9	2,1	1,2
Ingestion (kg MS/j)						
Totale	4,32	3,69	2,91	3,32	2,89	2,37
Foin de luzerne	3,41	2,78	2,00	2,43	2,00	1,48
Pâturage ^b	–			0,43		
Orge	0,17			–		
Maïs	–			0,13		
Tourteau de soja tanné	0,74			0,33		
% de concentré	21	25	31	14	16	19
Valeurs de la ration (/kg MS)						
UFL	0,68	0,72	0,79	0,72	0,77	0,83
MAT (g)	217	224	236	212	218	226
PDI (g)	120		122	117	118	
BPR (g)	43	49	61	42	47	55
Taux de couverture des besoins théoriques (%) ^c						
UFL ^d	98	110	132	93	105	126
PDI	101	109	128	104	116	145

Les abréviations sont définies dans la liste à la fin de l'article.

Aliments retenus (Tables INRA 2018) : foin de luzerne FF3370 / pâturage FV0010 / orge CC0010 / maïs CC0020 / tourteau de soja tanné CX0260.

^a Brebis cible : production laitière du 85^e centile du troupeau ; brebis moyenne : production laitière du 50^e centile du troupeau ; brebis faible : production laitière du 10^e centile du troupeau.

^b Trois heures de pâturage hivernal de très bonne qualité avec une quantité d'herbe limitée estimée à moins de 1,0 kg MS/j/brebis.

^c La fonction d'optimisation donne plus de poids à la couverture des besoins PDI (qui sont donc couverts) qu'à la couverture des besoins UFL (qui peuvent donc être légèrement inférieurs à 100 %).

^d Pour les brebis Lacaune, les valeurs incluent une mobilisation des réserves corporelles de 0,25 point par mois.

des réserves corporelles adaptée à chaque lot, de mieux valoriser les fourrages (moins de substitution), de réduire les pertes (notamment azotées) et d'économiser de l'aliment concentré (Hassoun *et al.*, 2019).

■ 3.5. L'alimentation en lots des chèvres laitières

Comme les brebis laitières, les chèvres laitières sont très majoritairement alimentées en lots, d'effectifs relativement importants (quelques dizaines

à plusieurs centaines). Le fourrage (ou mélange de fourrages) est considéré comme étant distribué à volonté, les concentrés étant apportés dans la plupart des cas, soit en collectif (distribution manuelle ou automatisée dans le couloir d'alimentation), soit en individuel en salle de traite (ou les deux). Dans tous les cas, la dose de concentrés distribuée est considérée comme identique pour toutes les chèvres du lot. Les chèvres ayant forcément des besoins différents (parité, poids, production), la conséquence directe est que, quelle que soit la dose d'apport de concentré, les chèvres à forts besoins risquent de recevoir une ration ne couvrant pas la totalité de leurs besoins, tandis que les

chèvres à plus faibles besoins risquent d'être alimentées bien au-delà de leurs besoins. Le calcul de ration se fait donc conceptuellement sur une chèvre cible (« objectif ») et non pas sur la chèvre moyenne du lot, afin de couvrir les besoins d'une grande majorité du troupeau. Une chèvre « faible » type est également définie (représentant les 10 % les moins productives).

Comme chez les brebis, une distribution théorique des productions laitières individuelles centrée sur la production laitière moyenne observée est définie à partir d'un écart-type connu ou à renseigner (0,5 à 1,0 l/j en général). La chèvre cible est aussi choisie, par

1 Remerciements à Margot Lamarque de l'Unité Expérimentale INRAE de La Fage, qui a assuré le calcul des rations des brebis.

Tableau 6. Exemple de rations pour des chèvres laitières en fonction de la stratégie de complémentation.

Ration	A			B		
Stratégie de complémentation	Couverture des besoins de la chèvre cible			Couverture des besoins de la chèvre moyenne		
Type d'animal (niveau de production) ^a	Chèvre Cible	Chèvre Moyenne	Chèvre Faible	Chèvre Cible	Chèvre Moyenne	Chèvre Faible
Poids (kg)	60					
Production laitière brute (kg/j)	3,7	3,0	2,0	3,7	3,0	2,0
Ingestion (kg MS/j)						
Totale	3,14	2,97	2,74	3,05	2,87	2,65
Foin de luzerne	1,97	1,80	1,57	2,29	2,12	1,89
Orge	1,17	1,17	1,17	0,76	0,76	0,76
% de concentré	37	39	43	25	26	29
Valeur de la ration (/kg MS)						
UFL	0,75	0,77	0,80	0,71	0,72	0,75
MAT (g)	153	151	149	161	160	158
PDI (g)	93	92	91	93	92	92
BalProRu (g)	8	7	6	15	15	14
Taux de couverture des besoins théoriques (%)						
UFL	100	110	128	91	100	115
PDI	98	107	124	95	103	120

Les abréviations sont définies dans la liste à la fin de l'article.

Aliments retenus (Tables INRA 2018) : foin de luzerne FF3370 / orge CC0010.

^a Chèvre multipare (28 mois) à 4 mois de lactation, écart-type inter-chèvres de la production 0,8 kg/j. Chèvre cible : production laitière du 85^e centile du troupeau ; chèvre moyenne : production laitière du 50^e centile du troupeau ; chèvre faible : production laitière du 10^e centile du troupeau.

exemple, pour couvrir les besoins de 85 % des chèvres du lot, et sa capacité d'ingestion et ses besoins sont calculés. Le calcul de ration consiste à calculer la dose et la nature du ou des concentrés à apporter en plus du fourrage distribué *ad libitum* pour couvrir les besoins en UFL et en PDI de cette chèvre cible en prenant en compte la mobilisation ou la reconstitution des réserves selon le stade de lactation. Cette complémentation est ensuite appliquée aux chèvres « moyenne » et « faible » pour calculer leur ingestion de fourrage (compte tenu de leur CI propre) et le taux de couverture de leurs besoins par rapport à leur production laitière observée.

En plus de ce mode calcul, et comme pour les brebis, l'outil de rationnement peut être utilisé en mode constat (l'ingestion de tous les aliments est renseignée par l'utilisateur si des mesures sont réalisées). Ceci peut permettre en

fermes de corriger *a posteriori* la valeur des fourrages (elle peut avoir été mal estimée en l'absence d'analyses), voire les caractéristiques des chèvres, et de vérifier que les quantités distribuées sont correctes.

Dans le **tableau 6**, sont présentées à titre d'exemple deux stratégies de complémentation, à savoir une complémentation qui couvre 100 % des besoins UFL de la chèvre cible (rationnement « classique » pour couvrir les besoins de 85 % des chèvres du lot), et une complémentation calculée limitée à la couverture des besoins de la chèvre moyenne (qui ne couvre donc que les besoins de 50 % des chèvres du lot). La ration proposée, à base de foin de luzerne de qualité distribué à volonté et d'un concentré de type céréales, est simple, mais utilisée sur le terrain (Idele, 2011). Les résultats sont présentés dans les deux cas sur les chèvres cible, moyenne et faible, afin

d'en mesurer les effets sur l'ingestion de foin, l'ingestion totale et le taux de couverture de leurs besoins.

4. Discussion et conclusion

Une représentation des interactions digestives et métaboliques sur les apports énergétiques et azotés a permis au système d'alimentation INRA 2018 de voir ses potentialités d'application pour le rationnement s'élargir. Les principales évolutions consistent en la possibilité de concevoir des rations en recherchant des compromis entre objectifs et d'évaluer les rations calculées sur différentes dimensions. Cette évolution s'est faite au prix d'une certaine complexification du système. En particulier, le calcul de la valeur de la ration ne repose plus sur un principe

d'additivité entre les valeurs « table » des aliments, mais prend en compte les effets du niveau d'alimentation et des interactions entre aliments, non seulement sur les apports nutritifs, mais également sur les rejets de méthane entérique et d'N urinaire. Ces effets n'étaient jusqu'alors pris en compte que pour les vaches laitières, et directement au niveau de l'énergie nette (facteur de correction E, en UFL ; INRA, 2007). Leur prise en compte à toutes les étapes de l'utilisation de l'énergie et des matières azotées rend la prévision des apports plus précise, et donc rend possible la prévision des réponses aux apports.

D'un point de vue logiciel, les lois de réponses productives ont été pour le moment implémentées pour les bovins, ce qui constitue en soi une originalité par rapport aux autres systèmes internationaux ; leur implémentation reste à faire pour les petits ruminants (Sauvant *et al.*, 2021, 2022) pour compléter l'approche basée sur l'identification des animaux cible/moyen/faible. Les lois de réponse étant essentiellement non linéaires, leur implémentation rend nécessaire la définition de situations pivot, correspondant à une trajectoire de référence, autour de laquelle les lois de réponses sont mises en œuvre. La définition de cette trajectoire de référence reste délicate. Pour les vaches laitières, elle repose actuellement sur des courbes moyennes de production laitière, prévues à partir de la production de lait observée au pic de lactation. Elles ne prennent ainsi pas en compte la variabilité des dynamiques de persistances, liée d'une part à la variabilité des individus, et d'autre part à la variabilité des conduites de traite (robots de traite, monotraite...), et

des systèmes fourragers. L'indexation des courbes de référence sur un index génétique est une perspective intéressante pour mieux traduire la diversité des trajectoires individuelles, comme l'ont montré les travaux de Ruelle *et al.* (2019) dans le contexte du cheptel laitier irlandais. D'une manière générale, les ruptures dans les trajectoires de référence et leurs éventuels effets rémanents (restrictions alimentaires et croissance compensatrice, incidents sanitaires et réduction des capacités de la mamelle...) restent difficiles à prendre en compte.

Par ailleurs, dans un contexte de raréfaction probable des données de référence mesurées en conditions expérimentales contrôlées, un des enjeux pour l'avenir sera de valoriser la multitude et la diversité des informations disponibles sur le terrain. L'explosion des capacités calculatoires pour interpréter ces données à haut débit obtenues dans des situations très contrastées, offre des perspectives intéressantes pour des prévisions plus agiles des valeurs des aliments, des besoins et réponses des animaux, dans une plus grande diversité de contextes, y compris ultramarins. Cet enjeu est d'autant plus fort que le changement global et la nécessaire transition agroécologique des systèmes d'élevage induiront inexorablement une évolution des ressources alimentaires disponibles et des caractéristiques des animaux capables de les valoriser. Enfin, si l'intégration récente d'un algorithme d'optimisation multiobjectif dans l'optimisation des rations a constitué un progrès important, cette approche reste encore limitée à quelques objectifs très liés aux réponses de l'animal moyen.

Le développement d'algorithmes plus sophistiqués permet d'envisager l'intégration d'une plus grande diversité d'indicateurs, et d'avoir une approche plus systémique et plus contextualisée du rationnement.

Contribution des auteurs

P. Nozière a coordonné l'écriture de l'article et rédigé l'essentiel des parties 1, 2 et 4. Les sections spécifiques au module PrévAlim (2.1), au module minéral (2.2 et 3.1) et aux acides aminés (3.1) ont été rédigées par G. Maxin, A. Boudon et S. Lemosquet, respectivement. Les exemples de rationnement (partie 3) ont été rédigés par L. Delaby (3.1, vaches laitières en bâtiment), R. Delagarde (3.2, vaches laitières au pâturage ; 3.5, chèvres laitières), B. Sepchat (3.3, bovins en croissance et à l'engrais), et P. Hassoun (3.4, brebis laitières). Les coauteurs ont relu et amendé l'ensemble du texte. L. Delaby et R. Baumont ont également assuré la relecture finale.

Remerciements

Nous remercions l'ensemble des collègues – scientifiques, ingénieurs et informaticiens – qui ont contribué ou contribuent au développement du logiciel INRAtion®V5 ; les partenaires de SIEL qui ont conçu et financé l'interface, contribuent à la dissémination du logiciel sur le terrain, et assurent la remontée de données de terrain permettant d'affiner le paramétrage des modèles ou d'élargir leur champ d'application ; le Département Phase INRAE pour son soutien de longue date sur ce projet.

Liste des abréviations

Abréviation	Définition
AA	Acides aminés
AADI	Acides aminés réellement digestibles dans l'intestin grêle
AG	Acides gras
Ami	Amidon
AMV	Aliment minéral et vitaminique

Abréviation	Définition
BPR	Balance protéique du rumen
Ca _{abs}	Calcium absorbable
CH ₄	Méthane
CI	Capacité d'ingestion
dE	Digestibilité apparente de l'énergie dans le tractus digestif
dMO	Digestibilité apparente de la matière organique dans le tractus digestif
dr_N	Digestibilité réelle de l'azote dans l'intestin grêle
DT_Ami	Dégradabilité théorique de l'amidon dans le rumen
DT_MS	Dégradabilité théorique de la matière sèche dans le rumen
DT_N	Dégradabilité théorique de l'azote dans le rumen
EB	Énergie brute
EffPDI	Efficience d'utilisation des PDI par l'organisme
GMQ	Gain moyen quotidien
LysDI	Lysine digestible dans l'intestin
MAT	Matières azotées totales
MetDI	Méthionine digestible dans l'intestin
Mg _{abs}	Magnésium absorbable
Min.	Minéraux
MO	Matière organique
MS	Matière sèche
NDF	Parois végétales (<i>Neutral Detergent Fibre</i>)
NEC	Note d'état corporel
P _{asb}	Phosphore absorbable
PCO	Proportion de concentré
PDI	Protéines digestibles dans l'intestin
PDIA	Protéines digestibles dans l'intestin d'origine alimentaire
PDIM	Protéines digestibles dans l'intestin d'origine microbienne
PL ; PLs ; PL _{Pot} ; PL _{MaxPot} ; PL _{Pot_305j}	PL : Production laitière ; PLs : PL standardisée ; PL _{Pot} : PL potentielle ; PL _{MaxPot} : PL _{Pot} au pic de lactation ; PL _{Pot_305j} : PL _{Pot} sur la lactation totale
PF	Produits de fermentation des ensilages
PIA	Protéines alimentaires entrant dans l'intestin
TB	Taux butyreux
TP	Taux protéique
UE ; UEM ; UEL ; UEB	UE : Unité d'encombrement ; UEM : UE mouton ; UEL : UE lait (vaches et chèvres) ; UEB : UE bovin (en croissance ou allaitant)
UEBf ; UELf ; UEMf	UEB, UEL, UEM apportées par les fourrages
UF ; UFL ; UFV	UF : Unité fourragère ; UFL : UF pour la production de lait ; UFV : UF pour la production de viande
UFLf	UFL apportées par les fourrages
Vit.	Vitamines

Références

- Baumont, R., Champciaux, P., Agabriel, J., Andrieu, J., Aufrère, J., Michalet-Doreau, B., & Demarquilly, C. (1999). Une démarche intégrée pour prévoir la valeur des aliments pour les ruminants : PrévAlim pour INRAtion. *INRA Productions Animales*, 12(3), 183-194. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1999.12.3.3878>
- Bocquier, F., Barillet, F., Guillouet, P., & Jacquin, M. (1993). PrévAlim : Prédiction de l'énergie du lait de brebis à partir de différents résultats d'analyses : proposition de lait standard pour les brebis laitières. *Annales de Zootechnie*, 42(1), 57-66. <https://doi.org/10.1051/animres:19930106>
- Coulon, J.-B., & Agabriel, J. (1992). Réflexions sur les outils de mise en œuvre des recommandations alimentaires. Application aux vaches laitières dans les conditions françaises. *INRA Productions Animales*, 5(5), 347-353. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.1992.5.5.4250>
- Hassoun, P., Hardy, A., Tesnière, A., Legarto, J., & De Boissieu, C. (2019). Feeding strategy of Lacaune dairy sheep: dairy ewes fed in groups according to their milk yield. In: R. Ruiz, A. López-Francos, & L. López Marco (Eds.), *Innovation for sustainability in sheep and goats* (Zaragoza: CIHEAM, Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 123, pp. 345-349). <https://om.ciheam.org/ressources/om/pdf/a123/00007910.pdf>
- Hassoun, P., Portes, D., Coulon, V., Tomas, R., Arles, S., Menras, J. M., Allain, C., Amposta, N., & Parisot, S. (2022). Application pratique du rationnement des brebis laitières en début de traite avec le nouveau système d'alimentation INRA 2018 en comparaison de l'ancien système INRA 2007 [Communication]. 26e Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Paris. https://journées3r.fr/wp-content/uploads/2023/03/texte_4_alimentation_p-hassoun-fea.pdf
- Idele. (2011). *L'alimentation pratique des chèvres laitières*. Institut de l'Élevage.
- INRA. (2007). *Alimentation des bovins, ovins et caprins : Besoins des animaux – Valeurs des aliments – Tables INRA 2007*. Éditions Quæ.
- INRA. (2018). *Alimentation des ruminants : Apports nutritionnels – Besoins et réponses des animaux – Rationnement – Tables des valeurs des aliments*. Éditions Quæ.
- Nozière, P., Baumont, R., Boudon, A., Delagarde, R., Hassoun, P., Lemosquet, S., Maxin, G., Sepchat, B., & Delaby, L. (2026). Le système d'alimentation INRA 2018 pour les ruminants. 1. Bases conceptuelles. *INRAE Productions Animales*, 39(2), 9526. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2026.39.2.9526>
- Ruelle, E., Delaby, L., & Shalloo, L. (2019). Linkage between predictive transmitting ability of a genetic index, potential milk production, and a dynamic model. *Journal of Dairy Science*, 102(4), 3512-3522. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15197>
- Sauvant, D., Chapoutot, P., Giger-Reverdin, S., & Bluet, B. (2021). Extension spatio-temporelle du modèle chèvre INRA 2018 : 1. Application à l'alimentation en lots. *INRAE Productions Animales*, 34(4), 305-326. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2021.34.4.5354>
- Sauvant, D., Puillet, L., & Bluet, B. (2022). Extension spatio-temporelle du modèle chèvre INRA 2018 : 2. L'évolution de la dynamique des réserves, du poids vif et de la NEC sur un cycle productif. *INRAE Productions Animales*, 35(1), 73-90. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2022.35.1.5492>

Résumé

Le système d'alimentation INRA 2018 pour les ruminants, dont les bases sont décrites dans l'article compagnon, est adapté aux bovins, ovins et caprins, producteurs de lait ou de viande, à l'auge ou au pâturage. Le logiciel INRAtion®V5 est le support opérationnel du système. Il est utilisé pour résoudre des problématiques de rationnement en fonction des caractéristiques des animaux et du troupeau, des aliments disponibles, et des objectifs de l'éleveur. Ces objectifs peuvent être multiples et concerner la production des animaux, la gestion de leurs réserves corporelles, l'efficacité biologique ou économique d'utilisation des ressources, et la limitation des rejets dans l'environnement. L'optimisation multiobjectif permet de proposer une ration qui constitue le meilleur compromis entre ces objectifs. Cette ration détermine différentes réponses des animaux, qu'il est possible de prévoir pour établir *a priori* un diagnostic de la ration sur différents critères. Cet article présente des exemples d'élaboration multiobjectif et d'évaluation multicritère des rations pour différentes espèces et types de productions.

Mots clés : ruminant ; rationnement ; évaluation multicritère ; outil d'aide à la décision

Abstract

The INRA 2018 feeding system for ruminants. 2. Application to rationing

The INRA 2018 feeding system for ruminants, which is described in the companion paper, is suitable for dairy or beef cattle, sheep and goats, whether they are fed at the trough or on pasture. The INRAtion®V5 software provides operational support for the system. It solves rationing issues based on animal and herd characteristics, available feed and farmer objectives. These objectives may relate to animal production, management of body reserves, the biological or economic efficiency of resource use, or the limitation of environmental waste, and may be multiple. Multi-objective optimisation enables the proposal of a ration representing the best compromise between these objectives. The animals' responses to this ration can be predicted in order to establish an *a priori* diagnosis of the ration based on different criteria. This paper presents examples of multi-objective resolution and multi-criteria evaluation of diets for various types of ruminants and productions.

Keywords: Ruminant; Rationing; Multicriteria evaluation; Decision support tool

NOZIÈRE, P., BAUMONT, R., BOUDON, A., DELAGARDE, R., HASSOUN, P., LEMOSQUET, S., MAXIN, G., SEPCHAT, B., & DELABY, L. (2026). Le système d'alimentation INRA 2018 pour les ruminants. 2. Application au rationnement. *INRAE Productions Animales*, 39(2), 9809. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2026.39.2.9809>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI en respectant les informations figurant ci-dessus.