Optim'Al v2, un outil d'optimisation alliant « économie » et « autonomie protéique » pour le calcul des rations des vaches laitières selon le système INRA 2018

CHAPOUTOT P. (1), TRAN G. (2), HEUZE V. (2), BERCHOUX A. (3), ROUILLE B. (4), SAUVANT† D. (1)

(1) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants - 22 place de l'Agronomie - CS 20040 - 91120 PALAISEAU CEDEX
(2) AFZ (Association Française de Zootechnie) - 22 place de l'Agronomie - CS 20040 - 91120 PALAISEAU CEDEX
(3) Institut de l'Élevage - Agrapole - 23 rue Jean Baldassini - 69364 LYON CEDEX 7
(4) Institut de l'Élevage - Monvoisin - BP 85225 - 35652 LE RHEU CEDEX.

RESUME

Cette étude décrit l'organisation et le fonctionnement d'Optim'Al v2, un outil d'optimisation des rations pour vaches laitières. Basé sur la programmation linéaire, Optim'Al v2 intègre les principes du nouveau système INRA 2018, dans lequel les valeurs des aliments et les besoins des animaux dépendent des caractéristiques de la ration. Différentes simulations, mettant en œuvre un processus de calculs itératifs, montrent l'intérêt de l'analyse de sensibilité des solutions optimisées qui apporte des éléments de réflexion sur la valorisation des aliments et les stratégies d'achat pour l'éleveur. Une phase de calcul post-optimisation prend en compte les lois de réponses non linéaires des animaux pour réaliser un diagnostic technico-économique basé sur la marge alimentaire permise par les rations et sur leur valeur environnementale. Par ailleurs, une valeur de dépendance protéique des aliments, associée à leur périmètre d'approvisionnement, peut servir de fonction d'optimisation à la place du prix afin d'obtenir des rations « autonomes », ou en combinant les approches « économie » et « autonomie protéique » dans une fonction multi-objectif.

Optim'Al v2, an optimization tool combining "economy" and "protein autonomy" for dairy cow ration calculation according to INRA 2018 system

CHAPOUTOT P. (1), TRAN G. (2), HEUZE V. (2), BERCHOUX A. (3), ROUILLE B. (4), SAUVANT D.† (1)

(1) Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, UMR Modélisation Systémique Appliquée aux Ruminants - 22 place de l'Agronomie - CS 20040 - 91123 PALAISEAU CEDEX

SUMMARY

This study describes the organization and operation of Optim'Al v2, an optimization tool for dairy cow rations. Based on linear programming, Optim'Al v2 integrates the principles of the new INRA 2018 system, in which feed values and animal requirements depend on the ration characteristics. Different simulations, implementing an iterative calculation process, reveal the interest of a sensitivity analysis of the optimized solutions, useful to reflect on feed valorization and purchase strategies for dairy farmers. A post-optimization calculation phase takes the non-linear responses of the animals into account and allows a technical-economic diagnosis of dairy cow rations based on feed cost margin and on their environmental values. In addition, a protein-dependency value of feeds according to their supply perimeter, can be used instead of feed cost as an optimization function to obtain "autonomous" rations. Moreover, both "economy" and "protein autonomy" approaches can be combined in an optimization multi-objective function.

INTRODUCTION

L'utilisation de la programmation linéaire (PL) dans la conception des régimes pour ruminants n'est pas très courante (Lapierre, 2005, Chapoutot et al., 2018) contrairement à la formulation de mélanges pour monogastriques. L'application Optim'Al (Chapoutot et al., 2014, 2015), conçue par l'Association Française de Zootechnie (AFZ) pour le compte de l'Institut de l'Elevage (Idele), permettait de réaliser par PL une optimisation économique des rations pour vaches laitières (VL) et bovins viande selon le système INRA 2007. Les nouveautés apportées par le système INRA 2018 ne simplifient pas son adaptation à la PL : d'une part, les calculs mettent en œuvre de nombreux processus itératifs et, d'autre part, les réponses des animaux aux stratégies alimentaires ne sont pas linéaires. Par ailleurs, l'autonomie protéique des exploitations est de plus en plus cruciale afin d'accroître la souveraineté métropolitaine pour l'approvisionnement en protéines des élevages. L'objectif de cette étude est de décrire et présenter l'intérêt d'un nouvel outil d'optimisation des rations pour VL qui intègre les nouveautés du système INRA 2018 et associe les volets « économie » et « autonomie » dans la conception des régimes distribués à l'auge. Cet outil, « Optim'Al v2 », a été conçu par l'AFZ dans le cadre du Programme Cap Protéines, à partir d'un prototype proposé par Chapoutot et al. (2022), et est développé par la société Adventiel.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1 ORGANISATION ET FONCTIONNEMENT DE L'OUTIL

1.1.1 Les principes de la programmation linéaire

L'optimisation économique des rations par PL doit couvrir les besoins journaliers (minimum ou maximum) des animaux (CI, UFL, PDI, Caabs, Pabs – sans tenir compte des AADI pour des raisons de simplification). Les niveaux requis (avec d'éventuelles plages de tolérance en-deçà ou au-delà des besoins) pour ces éléments i sont regroupés dans le *vecteur des contraintes* b_i. Chacun des aliments j testés dans la ration présente pour chaque critère i des caractéristiques propres de valeurs alimentaires (UEL, UFL, PDI, Caabs, Pabs, par Kg MS), qui sont recensées dans la *matrice des coefficients techniques* a_{ij}. Par ailleurs, les prix des ingrédients sont intégrés dans le *vecteur économique* c_j. Enfin, le respect de recommandations alimentaires ou de contraintes de stocks peut nécessiter des *limites min ou max*

d'incorporation des aliments j dans la ration. La formulation à moindre coût des rations pour VL revient donc à rechercher les niveaux Q_j (en kg MS/j) de chacun des ingrédients j, pour que les apports journaliers du mélange dans chaque critère i puissent satisfaire l'ensemble des besoins b_i, chacun correspondant à une inéquation linéaire à prendre en compte. La mise en œuvre de la fonction « objectif » $Z=\sum_j c_j \times Q_j$, par exemple la recherche du minimum du coût de la ration, aboutit au choix de *la solution optimale, correspondant au vecteur Q_j des aliments retenus*. La formalisation algébrique d'un problème d'optimisation à moindre coût d'une ration est donc la suivante :

- Recherche des variables Q_j (en kg MS/j), telles que :
- Contraintes alimentaires : $\forall i,\ \sum_j a_{ij} \times Q_j \leq \text{ou} \geq b_i$
- Limites d'incorporation : $\forall j,\ \min Q_j \leq Q_j \leq \max Q_j$
- Fonction d'optimisation : $\mathrm{Min}(\sum_j c_j \times Q_j)$

Cependant, la prise en compte de recommandations techniques peut nécessiter la mise en œuvre de variables et contraintes supplémentaires (Chapoutot et al., 2005 et 2018). Ainsi, la contrainte de proportion de concentré maximum (PCO_{max}) à respecter : $\mathrm{MSC/MST} \leq \mathrm{PCO_{max}}$, (avec MSC et MST : quantités ingérées de MS de concentrés et totale), n'est pas une relation linéaire et devra être transformée, en créant les variables auxiliaires MSC et MST au moyen d'inéquations supplémentaires :
$\sum_j Qf_j + \sum_j Qc_j - \mathrm{MST} = 0$ et $\sum_j Qc_j - \mathrm{MSC} = 0$ (avec Qf_j et Qc_j : quantités de chaque fourrage et concentré j dans la ration), puis en liant ces 2 variables par une relation linéaire : $\mathrm{MSC} - \mathrm{PCO_{max}} \times \mathrm{MST} \leq 0$. Il en est de même pour la satisfaction des contraintes de composition chimique de la ration, Balance Protéique du Rumen (BPR), Amidon, MAT, NDF… exprimées sous forme de concentrations (en g/kg MS). Par ex., la contrainte de teneur minimum en MAT de la ration, en g/kg MS, $[\mathrm{MAT}]\mathrm{ration} \geq \mathrm{MAT_{min}}$, soit $\frac{\sum_j \mathrm{MAT_j} \times Q_j}{\sum_j Q_j} \geq \mathrm{MAT_{min}}$, avec un rapport de variables n'est pas une relation linéaire non plus et devra s'écrire sous la forme suivante : $\sum_j \mathrm{MAT_j} \times Q_j - \mathrm{MAT_{min}} \times \mathrm{MST} \geq 0$.

1.1.2 Calculs itératifs des valeurs d'aliments et des besoins

Dans le nouveau système INRA 2018, les valeurs des aliments dépendent du contexte de la ration du fait des interactions digestives, selon le niveau d'ingestion (NI), la PCO et la BPR. De même, les besoins peuvent dépendre de la valeur de la ration, par ex. CI=f(UFL/PDI ration). Dans ce cas, les valeurs a_{ij} et b_i dépendent des variables Q_j, ce qui n'est pas possible en PL. Il convient alors de mettre en place un processus de calculs itératifs. Lors de l'initialisation, les valeurs a_{ij} des aliments sont pris dans les « Tables » et les besoins b_i des animaux sont calculées pour l'animal à son potentiel (pivot nutritionnel), selon leurs seules caractéristiques, sans tenir compte du contexte de la ration. Après chaque itération du processus, divers critères caractérisant la ration optimisée [NI, PCO, BPR, la valeur d'encombrement moyenne des fourrages (UELf), le taux de substitution globale (Sg)] conduisent au recalcul des valeurs des aliments et des besoins des animaux selon INRA 2018 pour l'optimisation à l'itération suivante. Le processus boucle et, à chaque optimisation n, les valeurs de ces critères sont comparées à celles de l'optimisation n-1, à travers un écart pondéré qui doit tendre vers zéro ($\pm 10^{-2}$ près). En général, la convergence est atteinte rapidement après moins d'une dizaine d'itérations.

1.1.3 Analyse de sensibilité de la ration

Après convergence, une analyse de sensibilité est faite sur la ration optimale définitive comme dans l'application Optim'AI précédente. Cette analyse duale permet (1) de décrire les plages d'invariance (PI_inv) du niveau d'incorporation des aliments inclus dans la ration selon les variations de la conjoncture économique c_j, et calculer les prix d'intérêt (PI) des aliments non retenus et (2) de calculer les coûts marginaux U_i des contraintes saturées, avec leur PI_Inv selon le niveau des b_i, ainsi que leurs contributions économiques, absolues ($\mathrm{Contr_abs_i} = U_i \times b_i$) ou relatives ($\mathrm{Contr_rel_i} = \frac{U_i \times b_i}{\sum_i U_i \times b_i}$).

1.1.4 Autonomie protéique de la ration

Les aliments peuvent être caractérisés non seulement par leurs valeurs alimentaires et économique mais aussi par une valeur d'autonomie – ou plutôt de dépendance – protéique, basée sur leur teneur en MAT. Pour cela, chaque aliment j est affecté d'un indice ($\mathrm{Ind_ori_{jk}}$ = 0 ou 1), pour chaque modalité k d'approvisionnement ou origine possible : tracteur = exploitation ; camion = région ; bateau = importation, de façon analogue à ce qui est proposé dans le logiciel Devautop d'Idele (2022). Il est alors possible de répartir la dépendance protéique de la ration selon chaque origine k : $\%\mathrm{dép_ori_k} = \frac{\sum_j \mathrm{MAT_j} \times Q_j \times \mathrm{Ind_ori_{jk}}}{\sum_j \mathrm{MAT_j} \times Q_j}$. De plus, si l'on grève chaque origine k d'un coefficient de pondération ($\mathrm{pond_k}$) plus ou moins élevé comme index d'éloignement de la zone d'achat, une dépendance protéique globale peut être attribuée aux aliments j (en g MAT/kg MS) ainsi qu'à la ration (en kg MAT/j) : $\mathrm{Dép_glob_j} = \mathrm{MAT_j} \times \mathrm{Ind_ori_{jk}} \times \mathrm{pond}_k$ et $\mathrm{Dép_glob_{ration}} = \sum_j \mathrm{Dep_glob_j} \times Q_j \,/\, 1000$.
De plus, un taux de dépendance protéique globale de la ration : $\mathrm{Tx_glob_MAT_{ration}} = \frac{\mathrm{Dép_glob_{ration}}}{\sum_j \mathrm{MAT_j} \times Q_j}$ représente son degré de dépendance comme un multiple du niveau « Exploitation » pour lequel $\mathrm{Tx_glob_MAT_{ration}} = 1$.

1.1.5 Fonction d'optimisation multi-objectif

Classiquement, l'optimisation des régimes se fait sur la recherche du minimum du coût de la ration (100% « éco »). Cependant, il peut être également intéressant de concevoir une ration, au contraire, en cherchant à maximiser son autonomie protéique – ce qui revient à minimiser sa dépendance – et de choisir ce critère comme seule fonction « objectif » au lieu du coût de la ration (100% « auto »). De plus, on peut aussi souhaiter associer les 2 volets, « éco » et « auto », dans un même processus d'optimisation, pour rechercher la ration la moins coûteuse et la moins dépendante. Dans ce but, une fonction multi-objectif combine les 2 critères (coût et dépendance) par un jeu de pondérations (entre 0 et 1) dans une fonction « multi-objectif » à minimiser.

1.1.6 Réponses des animaux et marge alimentaire

Après l'optimisation définitive, les bilans théoriques UFL (BilUFLth) et PDI (BilPDIth) de la ration permettent de calculer les réponses de sécrétion (RepMP, RepLait, RepMG, RepLactose) et les réponses de taux protéique (RepTP), butyreux (RepTB), et de lactose (RepTL) selon Daniel et al., 2016 (INRA 2018) et d'en déduire la production de lait (PL) et les TP et TB attendus des animaux. Ainsi, selon la rémunération du lait (Prix de base et prix du gramme de TB et TP, en €/1000l), la production attendue et le coût de la ration, il est possible de calculer une marge sur coût alimentaire.

1.1.7 Calculs des rejets azotés

Afin de mesurer la valeur environnementale de la ration, les niveaux d'excrétion azotée des animaux d'origine fécale et urinaire sont calculés en fonction de ses caractéristiques (INRA, 2018). De plus, la ventilation entre origine digestive et métabolique des rejets azotés urinaires, selon les valeurs de BPR et de l'efficience PDI attendue (EffPDI) de la ration (Nur_BPR, Nur_InEffPDI ; INRA 2018), permet un diagnostic nutritionnel et environnemental de la ration.

1.2 CONTEXTE DE L'ETUDE

Pour cette étude, l'atelier VL avait les spécifications suivantes : 30 % primipares, stabulation libre, 650 kg, 40 mois, 22 semaines de lactation, 9 semaines de gestation, production potentielle = 26 kg de lait/j, TB et TP moyens = 42 et 33 g/kg respectivement, NEC=3 et 2,5 respectivement au vêlage et au stade).

10 aliments (Tables INRA 2018) ont été testés dans une conjoncture (grand-ouest ; été-automne 2021) avec des limites d'incorporation pour certains (**Aliment** *[code, Prix (€/T MS), min ou max (kg MS/j)]* : ***Ensilage Maïs*** [EM, 150] ; ***Ensilage d'herbe*** [EH, 220, min=3] ; ***Paille Blé*** [PAI, 100] ; ***Corn gluten feed humide*** [CGF, UEL=0,60/kg MS, prix non connu, max=4,] ; ***Maïs*** [MAI, 300] ; ***Blé*** [BLE, 225] ; ***Orge*** [ORG, 225] ; ***Pois*** [POI, 300]; ***Tourteau Colza*** [TCZ, 290] ; ***Tourteau Soja*** [TSJ, 400]; **CaCO3** [CAR, 50]; **Phosphate** [PHO, 500]).

Quelques contraintes ont été ajoutées dans ce contexte, sur le PCO_{max} ($\leq$ 40%) et sur la composition de la ration [-50 $\leq$ BPR $\leq$ 100, MAT $\geq$ 140, $NDF_{fourrages}$ (NDF_f) $\geq$ 300, Amidon $\leq$ 300, en g/kg MS].

Différentes simulations ont été réalisées dans cette étude par optimisation sur le coût de la ration (100% « éco »), dans le contexte initial (1), en réduisant le prix du CGF (2) puis la contrainte PDI_{min} à 95% (3) et 90% (4) des besoins, ou sur la dépendance protéique (100% « auto ») avec un approvisionnement du pois externe (5) ou interne (6) à l'exploitation.

2. RESULTATS

2.1 OPTIMISATION ECONOMIQUE INITIALE

Dans le contexte initial, la ration (N°1) optimisée sur le plan économique coûte 4,13 €/j/VL. Sa composition (en kg MS/j) est : EM (12,5), EH (3 kg, = mini), TSJ (3,3), BLE (0,9), TCZ (0,1) et CAR (0,2). Il ressort de l'analyse duale que le PI du CGF (prix de marché non connu, testé à 9999 €/kg MS), est de 235 €/T MS. Son niveau d'incorporation bute rapidement sur son maximum dès que son prix descend en-deçà de 200 €/T MS. A l'inverse, le TSJ montre une relative stabilité d'incorporation (3-4 kg MS/j) entre 170 et 440 €/T MS (figure 1). Dans cette ration, les apports journaliers couvrent strictement les besoins des VL (CI_{max} et UFL_{min}, PDI_{min}, $Caabs_{min}$, $Pabs_{min}$; ratio PDI/UFL=106 g PDI/UF), mais aucune des contraintes de composition chimique de la ration n'est saturée. Pour les contraintes UFL_{min} et PDI_{min}, les coûts marginaux sont de 0,11 €/UFL et 0,10 €/100 g PDI, et leur PI_Inv_i est 18,3-19,1 UFL et 1786-2050 g PDI. Elles contribuent chacune pour la moitié du coût de la ration environ, les contraintes de minimum sur les minéraux et l'EH ne pesant que 4% chacune, tandis que la contrainte CI_{max} intervient négativement pour 10% (contrainte maximum avec U_i = -0.023 €/UEL).

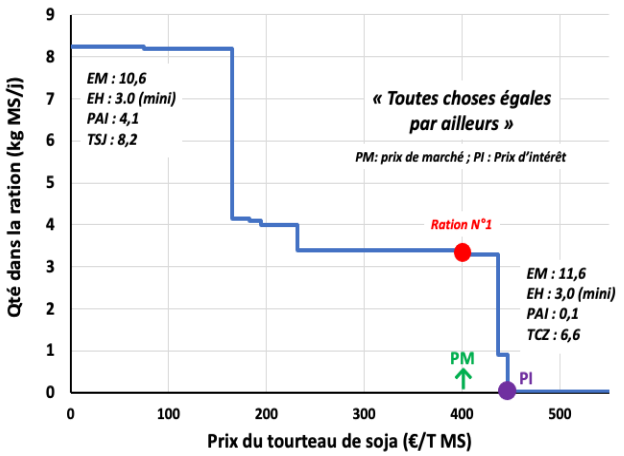

Figure 1 Variation du niveau d'incorporation du TSJ selon la conjoncture économique

ETUDE DES REPONSES ANIMALES

2.1.1 Performances de production attendues

L'utilisation maximum du CGF (4 kg MS/j à 195 €/T MS ; ration N°2 ; 3,94 €/j) réduit l'EM et le TSJ (-1,9 et -0,9 kg MS/j) et conduit à un BilUFLth = 0,4 UFL/j avec BilPDIth=0 et PDI/UFL=104 g PDI/UF. La Contr_rel PDI_{min} pèse alors 76% du coût de la ration, invitant à relâcher cette contrainte à la limite de sa PI_Inv. Ainsi, dans la ration N°3 (PDI_{min}≈95% besoins PDI ; 3,79 €/kg MS), le TSJ baisse encore (-0,4 kg MS/j), avec BilPDIth=-100 g/j, BilUFLth=0 et PDI/UFL=100 g PDI/UF. Si l'on pousse la contrainte PDI_{min} à 90% des besoins (ration N°4, 3,72 €/j), TSJ=1,3 kg MS/j et BilPDIth=-200 g/j (BilUFLth=0, ratio PDI/UFL=95 g PDI/UFL). En conséquence, les rations N°2, 3 et 4 ne couvrent plus les besoins des animaux à leur potentiel et génèrent des réponses de production, modifiant légèrement la marge alimentaire de l'atelier VL (tableau 2).

2.1.2 Rejets azotés des VL

La moindre couverture des besoins PDI et la baisse du ratio PDI/UFL des rations 3 et 4 entraine une baisse de -10 et -25% des rejets azotés d'origine urinaire (tableau 2). La baisse liée à l'origine digestive (baisse de BPR) est plus forte que celles d'origine métabolique (hausse de EffPDI), le ratio entre les 2 origines passant de 0,45 à 0,18.

2.2 AUTONOMIE PROTEIQUE DES RATIONS

L'attribution d'un périmètre « tracteur » pour EM, EH, MAI, BLE, ORG, « camion » pour CGF, POI, CAR, PHO et « bateau » pour TSJ, avec une valeur $Pond_k$=1/10/100 pour chaque origine k, permet de comparer les régimes optimisés sur leur niveau d'autonomie protéique ou sur un mix entre coût et dépendance selon le poids que l'on donne à ces 2 critères dans la fonction objectif (tableau 3). Pour la ration N°1, « 100% économie », le %dép_ori « bateau » est élevé (53%), avec un taux de dépendance vis-à-vis de l'extérieur de 54. Par contre, la ration N°5, « 100% autonomie », élimine le TSJ et favorise les protéines d'origine « Exploitation » (EH, MAI et BLE). Son %dép_ori « tracteur » augmente (76 vs 45%) et elle n'est que 3,1 fois plus dépendante qu'une ration ayant un approvisionnement exclusivement interne. De façon logique, si le POI est produit sur l'exploitation (ration N°6), il se substitue aux céréales et au CGF et la ration est alors encore plus autonome (Tx_dép=2,7). Par contre, ces rations « autonomes » sont plus coûteuses. Et, même si le produit lait est un peu accru en raison de réponses laitières positives, les marges de l'atelier lait restent plus faibles. Par ailleurs, dans le contexte N°5, dès l'introduction de 10% de dépendance dans la fonction multi-objectif, et ce jusqu'à 70%, la ration devient voisine de celle « 100% autonomie » (EM=1,7, EH=9,4, CGF=4,0, BLE=8,2, CAR=0,2 ; Coût=5,1, Dep_glob =11, Tx_dép =3,4 ; unités : voir tableau 3), puis glisse progressivement vers la ration N°5 entre 80 et 100% d'autonomie dans la fonction Z.

Tableau 2 Réponses de productions attendues et de rejets azotés prédits des vaches laitières selon les rations

Rations	N°1	N°2	N°3	N°4
PL att (kg/j)	26,0	26,2	25,4	24,8
TB att (g/kg)	42,0	41,8	42,0	42,0
TP att (g/kg)	33,0	33,1	32,9	32,8
Marge (€/VL/j)	5,40	5,50	5,45	5,30
Gain (€/an)	0	4500	1125	-2250
BPR (g/kg MS)	16	18	14	6
EffPDI (g/g)	0,67	0,67	0,69	0,71
N Fécal (g/j)	161	161	157	154
N Urinaire (g/j)	200	204	181	149
Nur_BPR (g/j)	40	47	35	15
Nur_InEffPDI (g/j)	108	104	94	82

Prix du lait (€/1000l) : base (38-32) = 350 ; gTB = 3 ; gTP = 4,5
Gain calculé pour 150 VL pendant 150 j/an

3. DISCUSSION

3.1 INTERET DE LA PL POUR LES REGIMES VL

Li et al. (2022) ont montré que la PL utilisée en processus itératifs, parmi d'autres méthodes de recherche opérationnelle, était intéressante pour la conception de régimes pour VL. Au-delà du calcul des variables primales (prix, composition et caractéristiques de la ration), l'analyse duale réalisée à l'issue d'une optimisation « éco » permet un diagnostic technico-économique poussé qui peut orienter les approvisionnements et conduire à un éventuel relâchement des contraintes à satisfaire. L'interprétation des variables duales est plus délicate dans le cadre d'une optimisation « auto ». Ainsi, le « PI » d'un aliment correspond à sa valeur de dépendance seuil en-deçà de laquelle il devient intéressant dans le régime, les PI_Inv peuvent s'interpréter comme des zones d'utilisation des aliments selon leur distance d'approche plus ou moins éloignée, tandis que les U_i représentent l'impact unitaire de chaque contrainte en termes de dépendance globale de la ration. Dans le cas d'une optimisation mixte « éco » et « auto », il est préférable que les valeurs coût et dépendance des aliments, selon les unités utilisées, soient de même ordre de grandeur pour ne pas biaiser leur pondération dans la fonction multi-objectif. Mais, la combinaison de ces 2 types de critères dans la fonction d'optimisation rend l'analyse duale beaucoup plus difficile à interpréter. Pour ces raisons, l'analyse duale n'est réalisée dans Optim'Al v2 que pour une optimisation 100% « éco ».

3.2 PRISE EN COMPTE DES REPONSES ANIMALES

Dans Optim'Al V2, le calcul de la marge alimentaire de l'atelier est réalisé en phase post-optimisation. Ce calcul intègre l'influence des apports alimentaires sur les réponses de production (PL, TB, TP) – et donc sur le produit lait – selon la nature de la ration. Cependant, la non-linéarité de ces réponses animales ne permet pas en PL d'utiliser ce critère économique comme fonction d'optimisation. Par ailleurs, l'analyse des rejets azotés conduit au diagnostic nutritionnel de la ration, et lui donne une valeur « environnementale », ce qui prend tout son sens dans le cadre du Plan Protéines français actuel.

3.3 AUTONOMIE PROTEIQUE DES RATIONS

Par souci de cohérence, la caractérisation de l'autonomie des aliments et des rations a repris les principes du programme Devautop. Ainsi, l'attribution aux aliments d'un indice « origine » permet la ventilation simple de l'autonomie de la ration selon les zones d'achat. Cet indice pourrait prendre une valeur non binaire ($0 \leq \mathrm{Ind_ori_{jk}} \leq 1$) de façon à noter par ex. un mélange fermier combinant des aliments issus de l'exploitation (céréales…) et achetés à l'extérieur (tourteaux, coproduits…). Comme le calcul de la dépendance protéique des aliments est basé sur une pondération arbitraire entre origines, la comparaison des rations sur leur autonomie protéique, absolue ou relative, n'est possible que dans un même contexte. Par ailleurs, le concept d'autonomie protéique est actuellement fondé sur le critère MAT pour des raisons de simplification et de cohérence entre logiciels. Il pourrait être plus pertinent de le baser sur la valeur PDI des aliments. La hiérarchie inter-aliment selon la dépendance PDI serait alors différente en fonction du ratio PDI/MAT, conditionné par la dégradabilité de l'azote dans le rumen des aliments.

3.4 OPTIM'AL V2 vs INRATION V5® ?

Optim'Al V2 ne vient pas en concurrence d'INRAtion V5® mais lui est complémentaire. INRAtion V5® est un outil de rationnement complet qui ne s'appuie que sur des concepts techniques. Il nécessite des choix initiaux pour simplifier les calculs (1 fourrage principal et 2 concentrés seulement…) et ne permet pas de poser des contraintes de composition chimique des rations. Cependant, l'utilisation dans INRAtion V5® d'une fonction d'optimisation technique et le choix différent des lois de réponses utilisées dans les 2 outils peut conduire à des résultats légèrement différents, ne remettant pas en cause la fiabilité des 2 logiciels.

Tableau 3 Rations des vaches laitières optimisées selon les critères « économie » ou « autonomie protéique »

Rations	N°1	N°5	N°6
Fonction d'optimisation	100% « Éco »	100% « Auto »	100% « Auto »
%dép_ori POI	Camion	Camion	Tracteur
Constitution des rations (en kg MS/j)	EM : 12,5 EH : 3,0 BLE : 0,9 TCZ : 0,1 TSJ : 3,3 CAR : 0,2	EH :11,2 CGF : 3,6 MAI : 1,7 BLE : 6,6 CAR : 0,2	EH : 10,8 CGF : 2,8 MAI : 6,7 POI : 2,3 CAR :0,2
%Dép Tracteur	45	76	87
%Dép Camion	2	24	13
%Dép Bateau	53	0	0
Dép_glob (kg MAT/j)	178	10	9
Tx_dép_MAT (kg/kg)	54	3,1	2,7
Coût (€/T MS)	4,1	5,3	5,8
Produit lait (€/j)	9,5	10,0	10,0
Marge (€/j)	5,4	4,7	4,2

Prix du CGF=235 €/T MS, juste au-dessus de son PI.

CONCLUSION

L'application « Optim'Al v2 », diffusée par Idele par le biais de formations, permettra donc, dans le système INRA 2018 actuel, de déterminer objectivement l'intérêt des aliments disponibles sur le marché, conduisant ainsi à une meilleure stratégie d'achat pour l'éleveur (achat de coproduits en cas de pénurie conjoncturelle d'aliments, par exemple). En outre, l'analyse des réponses des animaux autour de leur potentiel permet (1) de prévoir la marge sur coût alimentaire de la ration en modulant le niveau des besoins à satisfaire selon leur incidence économique et (2) de définir une valeur environnementale de la ration.
Par ailleurs, cet outil permet la conception et le diagnostic des rations sur des critères d'autonomie « protéique », mais aussi « massique », qui peut se raisonner à diverses échelles, de l'exploitation au pays.

Les auteurs remercient le projet DevProtEI N°21PFR004 qui soutient financièrement le développement de cet outil.

Chapoutot, P., Pressenda, F. 2005. INRAE Prod. Anim, 18(3), 209–228.
Chapoutot, P., Tran, G., Gillet, P., Rouillé, B., Bastien, D. 2014. Renc. Rech. Ruminants, 21
Chapoutot, P., Tran, G., Gillet, P., Rouillé, B., Bastien, D. 2015. 66th EAAP Meeting, Warsaw, Poland, 31/08 – 4/09, p. 269.
Chapoutot, P., Sauvant, D., Le Cadre, P., Guilbaud, T. 2018. In: V. Berthelot (Ed), Alimentation des animaux et qualité de leurs produits, 2018. Edition Lavoisier, Tec et Doc, collection Agriculture d'Aujourd'hui, Paris, 29-62.
Chapoutot, P., Tran, G., Heuzé, V., Sauvant, D. 2022. 73rd EAAP Meeting, Porto, Portugal, 5 – 9 september.
Daniel, J.B., Friggens, N.C., Chapoutot, P., Van Laar, H., Sauvant, D., 2016. Animal, 10, 1975-1985.
Devautop. 2022. https://idele.fr/detail-article/devautop. Dernière consultation 13 juillet 2022
Inra, 2018. Alimentation des ruminants, Éditions Quæ, Versailles, France, 728 p.
Lapierre O., 2005. Oléagineux, Corps gras, Lipides. 12 (3), 217-223.
Li, J., Kebreab, E., You, F., Fadel, J. G., Hansen, T. L., VanKerkhove, C., Reed K. F. 2022. J. Dairy Sci. 105:2180–2189.