



HAL
open science

Appliquer les méthodes d'évaluation multicritère aux rations des ruminants : identification des critères à évaluer et des indicateurs à mesurer sur les aliments

Gaëlle Maxin, Pierre Noziere, Daniel Sauvant, René Baumont

► **To cite this version:**

Gaëlle Maxin, Pierre Noziere, Daniel Sauvant, René Baumont. Appliquer les méthodes d'évaluation multicritère aux rations des ruminants : identification des critères à évaluer et des indicateurs à mesurer sur les aliments. INRA Productions Animales, 2018, 31 (3), pp.255-268. <10.20870/productions-animales.2018.31.2.2328>. <hal-02621821>

HAL Id: hal-02621821

<https://hal.inrae.fr/hal-02621821v1>

Submitted on 26 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC BY-NC-ND 4.0 - Attribution - Non-commercial use - No Derivative Works - International License

Appliquer les méthodes d'évaluation multicritère aux rations des ruminants : identification des critères à évaluer et des indicateurs à mesurer sur les aliments

Gaëlle MAXIN¹, Pierre NOZIÈRE¹, Daniel SAUVANT², René BAUMONT¹

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

² UMR MoSAR, INRA, AgroParisTech, Université Paris Saclay, 75005, Paris, France

Courriel : gaelle.maxin@inra.fr

■ L'alimentation des ruminants ne peut plus être raisonnée uniquement comme la satisfaction des besoins nutritionnels, mais doit tenir compte d'autres réponses en lien avec la santé animale, l'environnement ou la qualité des produits. Cela nécessite d'identifier de nouveaux critères pour évaluer les rations sur ces réponses et pose la question des indicateurs à mesurer à l'échelle des aliments pour évaluer ces critères.

Introduction

L'alimentation constitue une activité essentielle dans la production de ruminants et le coût alimentaire peut représenter plus de 50 % du coût de production dans les élevages. Il est bien connu depuis des décennies que le choix des aliments constituant une ration et leur consommation affectent les performances et la santé des animaux (Journet, 1988), les rejets (synthèse de Tamminga, 2003) et la qualité des produits (synthèse de Jenkins et McGuire, 2006).

Jusqu'à présent, les rations étaient formulées en priorité pour couvrir les besoins des animaux afin d'exprimer leur potentiel génétique de production. Toutefois, les systèmes de production de ruminants doivent faire face simultanément à plusieurs défis : être productifs tout en respectant l'environnement et les attentes sociétales en termes de bien-être et de santé des animaux et de

qualité des produits. En conséquence, les objectifs de formulation des rations ont changé et peuvent aujourd'hui être définis comme l'obtention d'une ration couvrant les besoins des animaux pour un objectif de production donné et permettant de générer des produits de qualité, tout en maîtrisant la santé et le bien-être des animaux et les rejets dans l'environnement.

La question de la prise en compte des réponses des animaux ruminants aux pratiques alimentaires était connue depuis longtemps (Brody, 1945) mais n'a pas constitué un objectif majeur en recherches et développement jusqu'à récemment. Progressivement la multiplicité des objectifs évoquée ci-dessus a abouti dans les années 1990 au concept de prévision des réponses multiples des animaux aux caractéristiques des régimes et aux pratiques alimentaires (Sauvant, 1999). Ce concept a commencé à être intégré dans les systèmes d'alimentation INRA notamment à travers les réponses de production aux

apports de concentrés (Faverdin *et al.*, 2010). La dernière actualisation (INRA, 2018) a progressé sur ce point car elle permet désormais d'estimer différentes réponses : la production et la composition du lait (taux), le gain des animaux, les rejets d'azote urinaire et fécal, la quantité de méthane émise, un risque d'acidose. Des lois de réponse de la composition en acides gras du lait et du muscle sont également proposées. Toutefois, le système ne propose pas encore d'évaluer tous les impacts d'une ration sur la santé animale, les rejets ou la qualité des produits. En effet, d'autres critères peuvent être envisagés pour ces impacts. Par exemple, l'alimentation peut causer d'autres problèmes de santé animale que l'acidose : empoisonnement, troubles digestifs, problèmes de reproduction, etc. La mise en pratique dans le rationnement du système d'alimentation INRA récemment rénové (INRA, 2018) intègre un compromis entre quelques objectifs de production (production de lait ou gain de poids, réserves corporelles, efficacité

d'utilisation des protéines) pour formuler la ration, puis évalue la ration optimisée sur d'autres réponses. Cependant, la conception du système ouvre la voie vers une optimisation de la ration en pondérant différentes réponses définies par l'utilisateur.

Ces considérations impliquent de continuer à faire évoluer les systèmes d'alimentation vers une évaluation des rations qui permettrait leur optimisation en prenant en compte l'ensemble de ces réponses. Ceci requiert une approche de nature multicritère afin de considérer simultanément toutes les réponses connues et de proposer une interprétation de l'ensemble de ces dernières (encadré 1). Nous présentons dans cet article les cadres conceptuel et méthodologique pour une évaluation multicritère des rations à l'échelle de l'animal et pour un animal donné en nous appuyant sur les principes de la démarche de construction d'une évaluation multicritère proposée par Roy (1996). Puis, nous proposons une première liste de critères à évaluer et discutons les indicateurs à mesurer à l'échelle des aliments pour évaluer ces critères. Enfin, nous présentons des perspectives de travail pour le développement de cette évaluation multicritère.

Encadré 1. Qu'est-ce qu'une évaluation multicritère ?

Une évaluation multicritère consiste à déterminer simultanément le niveau de contrôle de plusieurs critères. Les critères sont des principes qui permettent de discriminer des alternatives et servent de base à un jugement (Roy, 1996). Les indicateurs permettent de mesurer ou d'estimer un critère et ainsi différencier les alternatives pour ce critère.

1. Finalité et périmètre de l'évaluation multicritère des rations

■ 1.1. Finalité

L'évaluation multicritère des rations a pour but de répondre à deux objectifs :

Réaliser le diagnostic d'une ration, c'est-à-dire décrire les différentes réponses les plus probables d'un ani-

mal (ou d'un groupe d'animaux) à une ration (performances et santé animales, qualité des produits, rejets dans l'environnement) pour souligner ses points forts et ses points faibles ;

Aider à la formulation d'une ration, c'est à dire disposer d'un outil d'optimisation prenant en compte toutes ou une partie de ces différentes réponses de l'animal pour formuler la ration et définissant une fonction à optimiser qui peut être de nature technique et/ou économique.

L'évaluation doit donc permettre de discriminer les rations sur les différentes réponses et émettre un jugement global, puis de proposer une ration optimisée répondant aux priorités de l'utilisateur ; ces priorités pouvant être différentes en fonction des contextes d'élevage. En conséquence, cette évaluation multicritère pourrait servir au développement d'un outil d'optimisation multi-objectif permettant de formuler les rations selon des objectifs correspondant à plusieurs dimensions.

■ 1.2. Une évaluation des réponses de l'animal aux rations

L'objet à évaluer est la ration. Une évaluation de la valeur intrinsèque des aliments est trop restrictive et n'est pas pertinente avec une application sur le terrain. En effet, la valeur d'un aliment dépend des autres aliments de la ration. Des interactions entre les aliments constituant la ration peuvent se produire, modifiant les valeurs et les conclusions entre les niveaux « aliment » et « ration ». Par exemple, les interactions digestives modifient sensiblement la valeur nutritive d'un aliment au sein d'une ration, et il est possible de quantifier ces principales modifications (Sauvant et Nozière, 2013). Autre exemple, l'apport de sainfoin associé à la luzerne permet de réduire le risque de météorisation (Mueller-Harvey, 2006 ; Wang *et al.*, 2012).

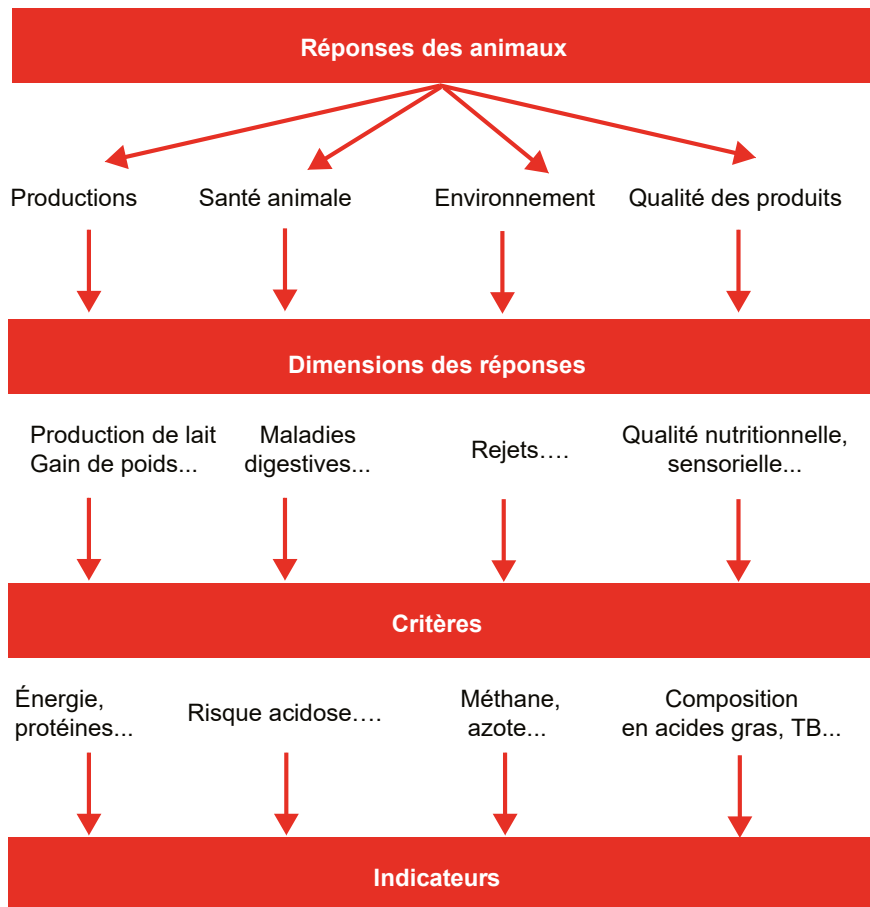
Cette évaluation des rations peut s'appliquer aux différents niveaux organisationnels d'un élevage : l'exploitation, le système fourrager, le troupeau ou l'animal. Le choix du niveau d'organisation est important car il va ensuite

conditionner la construction des cadres conceptuel et méthodologique de l'évaluation. De plus, les conclusions peuvent être contradictoires selon le niveau auquel l'évaluation se place. Ainsi, l'estimation des effets induits sur l'environnement seront différents selon que seuls les rejets au niveau de l'animal ou bien l'empreinte écologique globale de la ration sont considérés.

Le périmètre considéré ici est l'animal (et le troupeau), car c'est le périmètre pertinent à prendre en compte pour les enjeux liés à la santé et au bien-être animal et sur lequel l'éleveur dispose d'une marge de manœuvre importante dans le choix des aliments et des rations distribuées aux animaux. En effet, l'éleveur a peu ou pas de contrôle sur les périmètres plus englobants, incluant par exemple les effets de la production des aliments qu'il achète. Par ailleurs, ces niveaux englobants nécessitent de mettre en œuvre des méthodologies spécifiques comme par exemple la méthode ACV (Analyse de Cycle de Vie). La base de données ECOALIM (Wilfart *et al.*, 2016) fournit les inventaires de cycle de vie et les impacts environnementaux (consommation d'énergie, acidification des sols et des eaux, changement climatique, occupation de surface, eutrophisation, consommation de phosphore) des matières premières destinées aux animaux d'élevage et utilisées et/ou produites en France. Cette base de données permet de formuler des aliments en prenant en compte à la fois des critères économiques et environnementaux. Un couplage de la base de données ECOALIM avec l'évaluation multicritère des rations présentée ici permettrait de tenir compte de tous les effets induits sur l'environnement à un niveau plus englobant. Enfin, cette évaluation doit pouvoir s'appliquer à tous les types de ruminants (bovins, ovins et caprins) et tous les types de production (lait, viande) et de contextes d'élevage.

Ces choix préalables pour l'évaluation multicritère (optimisation et périmètre « animal ») permettent de définir les données d'entrée et de sortie, les critères et leur organisation. Afin d'obtenir un outil simple et rapide d'utilisation sur le terrain, les données d'entrée doivent être facilement disponibles, si possible

Figure 1. Cadre conceptuel de l'évaluation multicritère des rations. Quatre catégories de réponses de l'animal sont considérées dans l'évaluation multicritère des rations : productions, santé, environnement et qualité des produits. Au sein de chaque catégorie de réponses, différentes dimensions sont considérées, puis détaillées en critères évalués à partir d'indicateurs mesurés ou estimés sur les aliments.



peu nombreuses et décrire les aliments constituant la ration, ou la ration elle-même (type d'aliment, composition chimique, caractéristiques physiques...) et l'animal cible (espèce, type, âge, poids, production...). Les critères d'évaluation doivent être suffisamment génériques pour s'adapter à tous les ruminants tout en intégrant les spécificités liées à chaque espèce. L'organisation des critères devra permettre leur agrégation afin d'avoir une vue d'ensemble des réponses de l'animal à la ration. Ainsi, nous avons abouti au cadre conceptuel de l'évaluation multicritère (figure 1).

■ 1.3. Les réponses considérées dans l'évaluation multicritère des rations

Quatre catégories de réponses de l'animal sont considérées dans l'évaluation multicritère des rations :

- Production animale : elle renvoie à la prévision de l'ingestion et de la production des animaux à partir de la ration distribuée. Ces réponses peuvent être différentes de la stricte situation de couverture des besoins au potentiel de production, et donc intégrer les réponses de l'animal de part et d'autre de cette situation de référence.
- Santé animale : elle concerne ce que dans la ration agit sur la santé, le comportement et le bien-être de l'animal.
- Environnement : il s'agit des effets induits par l'utilisation de la ration sur les rejets dans le milieu.
- Qualité des produits : effets générés par la ration sur la qualité des produits issus de l'animal (lait, viande) pour l'Homme.

Au sein de chaque catégorie de réponses, différentes dimensions seront considérées, puis détaillées en critères évalués à l'échelle de l'animal à partir

de caractéristiques mesurables dans les aliments. Cette organisation structure les critères et permet de rendre lisible et facilement compréhensible l'évaluation multicritère (figure 1).

2. Quels critères prendre en compte ?

■ 2.1. Les critères pris en compte dans les systèmes d'alimentation actuels

Certains systèmes d'alimentation proposent aujourd'hui des lois de réponses des animaux aux rations en termes de production et de santé animale, de rejets et de qualité des produits. Le tableau 1 synthétise les lois de réponses proposées dans les principaux systèmes d'alimentation des ruminants. Les lois de réponses existantes concernent principalement la production des animaux et les rejets. À l'exception du risque d'acidose, les impacts sur la santé sont peu évalués dans les systèmes d'alimentation actuels. Une enquête a été réalisée auprès de scientifiques, ingénieurs et conseillers agricoles pour évaluer l'intérêt d'aller vers une évaluation multicritère des rations (Maxin, 2015). Cette enquête a montré que l'évaluation des rations sur des critères de santé animale pourrait susciter un intérêt fort auprès des agriculteurs. Les impacts sur la qualité des produits sont encore très peu inclus dans les systèmes actuels et concernent essentiellement le lait.

■ 2.2. Identification des critères pour une évaluation multicritère des rations

Nous présentons ici la démarche suivie pour identifier les critères à prendre en compte dans l'évaluation multicritère des rations. Pour chaque réponse, les dimensions à considérer ont d'abord été listées. Une dimension correspond à un ensemble de critères répondant à une même problématique pour une réponse. Puis à partir de la bibliographie, une première liste de critères a été définie pour chaque dimension. La liste de critères doit inclure tous les critères importants reflétant les effets

Tableau 1. Critères pris en compte dans les systèmes d'alimentation existants pour les réponses de production et de santé animales, de qualité des produits et de rejets*.

Système d'alimentation	Réponses			
	Production animale	Santé animale	Qualité des produits	Rejets
NORFOR (Danemark, Islande, Norvège, Suède)	Production de lait, gain de poids (NorFor, 2011)	Risques d'acidose (Nørgaard <i>et al.</i> , 2008)	Matières protéiques (NorFor, 2011)	Azote, méthane, phosphore et potassium (Volden, 2010 ; Karlengen <i>et al.</i> , 2012 ; Nielsen <i>et al.</i> , 2013)
INRA (France)	Production de lait, gain de poids (INRA, 2018)	Risque d'acidose (INRA, 2018)	Acide gras (lait et viande), taux protéique (INRA, 2018)	Azote, méthane (INRA, 2018)
CVB (Pays-Bas)	Production de lait, gain de poids (CVB, 2011)	Risque d'acidose (CVB, 2011)		
NRC (États-Unis)	Production de lait, gain de poids (NRC, 2001)			
Feed into milk (Royaume-Uni)	Production de lait (Thomas, 2004)		Taux protéique, taux butyreux (Thomas, 2004)	
CNCPS Cornell (États-Unis)	Production de lait et croissance (Van Amburgh <i>et al.</i> , 2015)			Azote et phosphore (Higgs <i>et al.</i> , 2012)

*Ce tableau synthétise les lois de réponses proposées dans les principaux systèmes d'alimentation des ruminants sans préjuger de leur pertinence.

de l'alimentation sur les dimensions considérées tout en évitant ceux non pertinents ou irréalistes. Les critères doivent être indépendants (c'est-à-dire interprétables séparément), facilement compréhensibles par les utilisateurs potentiels de l'évaluation multicritère et pas trop nombreux.

Différents experts ont également été consultés pour établir la liste de critères : des scientifiques spécialisés dans différents aspects de la production de ruminant : santé, qualité de la viande, qualité du lait, nutrition, rejets, ainsi que des utilisateurs potentiels de l'évaluation multicritère qui ont été questionnés sur les critères les plus pertinents à évaluer (Maxin, 2015). La liste de critères obtenue a ensuite été soumise à un groupe de neuf experts issus de la recherche, science vétérinaire, du conseil et de l'industrie afin de compléter et corriger les critères.

Le **tableau 2** présente la liste de critères identifiés pour les ruminants laitiers suite à ce travail. Au total 24 critères classés en 10 dimensions dans les quatre catégories de réponses ont été proposés pour l'évaluation multicritère des rations des ruminants laitiers. Il s'agit d'une première proposition de critères qui pourrait être affinée *via* la consultation d'autres experts et d'utilisateurs potentiels de l'évaluation.

La plupart des critères identifiés sont génériques et applicables pour évaluer les rations des autres ruminants. Seules les dimensions de la qualité des produits devront être étendues à l'évaluation des impacts de la ration sur la qualité de la viande. L'importance des dimensions et des critères dépend de l'animal considéré, des conditions de production et donc de l'utilisateur. Par exemple, la maîtrise du parasitisme est plus importante chez les petits rumi-

nants que chez les bovins. Les problèmes d'acidose sont plus fréquents chez les bovins que chez les petits ruminants. Ainsi, des informations sur l'animal considéré devront être renseignées, et un ajustement de certains critères en fonction de l'animal cible sera requis.

a. La production animale

Ces réponses correspondent à la prévision de l'ingestion et des productions des animaux en fonction de la ration distribuée, des apports d'énergie et de protéines. La prévision de la réponse de production de lait dans les systèmes d'alimentation est basée sur les différences entre les apports d'énergie et de protéines par la ration et les besoins des femelles laitières. Elle est également dépendante des quantités ingérées par l'animal et des apports en minéraux et vitamines. Trois critères ont donc été proposés : assurer une ingestion permettant de couvrir les besoins en énergie

Tableau 2. Dimensions et critères définis pour évaluer les réponses des ruminants laitiers à la ration.

Réponses	Dimensions	Critères
Production animale	Production de lait	1. Assurer une ingestion permettant de couvrir les besoins énergétiques* 2. Couvrir les besoins protéiques* 3. Couvrir les besoins en minéraux et micronutriments*
Santé animale	Intoxication	5. Éviter les composés antinutritionnels des plantes 6. Éviter les risques liés à la conservation des aliments 7. Éviter les excès de minéraux et d'oligo-éléments*
	Maladies nutritionnelles	8. Limiter le risque d'acidose* 9. Limiter le risque de météorisation 10. Limiter le risque d'alcalose* 11. Limiter le risque de cétose
	Parasitisme	12. Fournir une quantité optimale de tanins
	Stress oxydant	13. Fournir une quantité optimale d'antioxydants
	Problèmes de reproduction	14. Améliorer les performances de reproduction
Environnement	Rejets dans l'environnement	15. Limiter les rejets de méthane* 16. Réduire les pertes d'azote* 17. Limiter les rejets de minéraux
Qualité du lait	Nutritionnelle	18. Améliorer la teneur en protéines* 19. Améliorer la teneur en matières grasses 20. Améliorer la teneur en acides gras d'intérêt* 21. Améliorer les teneurs en micronutriments d'intérêt
	Sensorielle	22. Éviter les aliments sources de flaveur désagréable 23. Obtenir une couleur optimale
	Stabilité du produit	24. Améliorer la teneur en antioxydants

*Ces critères sont évalués au moins partiellement dans le nouveau système INRA (2018) à partir d'indicateurs agrégés disponibles.

[critère 1], couvrir les besoins en protéines [critère 2], et couvrir les besoins en vitamines et minéraux [critère 3]; les besoins étant définis par rapport à une situation de référence (potentiel de production de l'animal) ou un objectif de production donné (prise en compte des lois de réponse autour du potentiel).

La plupart des systèmes d'alimentation européens proposent une évaluation de l'ingestion basée sur une valeur d'encombrement (INRA, 2007; NorFor, 2011) ou une valeur de satiété (CVB, 2011) afin de prévoir les quantités ingérées des animaux. Dans le système INRA, la capacité d'ingestion des animaux varie avec l'espèce, le poids vif, l'état physiologique (gestation, lactation, croissance) et le niveau de production. Chaque fourrage a une valeur d'encombrement déterminée à partir

de sa composition chimique. La valeur d'encombrement des aliments concentrés présente une valeur minimale spécifique et change selon le taux de substitution entre fourrage et concentrés et selon le type de fourrage.

Les apports et les besoins des ruminants sont définis dans les principaux systèmes d'alimentation par une valeur d'énergie nette et une valeur de protéines métabolisables et sont caractérisés par différentes unités, respectivement les Unités Fourragères (UF) et les Protéines Digestibles dans l'Intestin (PDI) dans le système INRA. Les apports en UF et PDI sont calculés à partir de caractéristiques chimiques (teneurs en énergie brute, MAT, amidon et NDF) et de caractéristiques digestives de la ration (digestibilité, dégradabilité); et les besoins à partir de caractéristiques

de l'animal, dont sa production (potentielle ou objectif).

b. La santé animale

Seuls les problèmes de santé liés à l'alimentation ont été considérés pour les réponses de santé animale excluant ceux où l'alimentation joue un rôle mineur comparée aux conditions d'élevage ou à la génétique. Cinq dimensions en lien avec l'alimentation sont proposées :

Intoxication (trois critères). Certains aliments peuvent être toxiques pour les animaux et causer des blessures ou la mort après ingestion. La toxicité peut être directement liée à des composés des aliments [1^{er} critère], tels que certains acides aminés non protéiques de la vesce (Bell, 2003), les glucosinolates présents dans les crucifères

(Barry, 2013), les nitrites ou les nitrates (Chakwizira *et al.*, 2015), ou certains composés tanniques dans les plantes (Waghorn, 2008). La toxicité peut également être liée à la conservation [2^e critère], en particulier pour les fourrages conservés en ensilage, dans lesquels les mycotoxines, les levures, les moisissures ou les bactéries peuvent se développer (Dunière *et al.*, 2013).

Les ruminants sont tolérants à des apports élevés de minéraux. Cependant, consommés en très grande quantité, les minéraux sont toxiques [3^e critère] ou peuvent entraîner des carences en d'autres minéraux. Les intoxications liées aux minéraux et oligo-éléments restent rares chez les ruminants et sont souvent dues à des aliments particuliers (ex. les drèches sont riches en sulfures). Boudon *et al.* (2018) ont publié des niveaux maximaux tolérables par les ruminants pour plusieurs minéraux et oligo-éléments.

Maladies nutritionnelles (quatre critères). Les principales maladies liées à l'alimentation rencontrées chez les ruminants sont la météorisation du rumen et l'acidose, mais des cas d'alcalose et de cétose sont également observés.

L'acidose ruminale [1^{er} critère] est selon plusieurs études épidémiologiques le trouble nutritionnel le plus répandu dans les élevages de ruminants même si l'évaluation de sa prévalence reste délicate (Kleen et Cannizzo, 2012), c'est pourquoi la plupart des systèmes d'alimentation proposent déjà une évaluation plus ou moins élaborée du risque d'acidose. L'acidose est induite par un apport excessif de glucides rapidement fermentescibles entraînant des chutes anormales du pH ruminal. Ces troubles se traduisent par des périodes de chute d'ingestion et de performances pouvant durer plusieurs jours (Enemark, 2008). Les indicateurs proposés dans les systèmes actuels sont basés sur des éléments de fibrosité (teneur en fibres, taille des particules), des éléments fermentescibles (teneur en amidon dégradable) ou aux apports d'électrolytes (bilan électrolytique) de la ration (tableau 1).

La météorisation au pâturage [2^e critère] résulte d'une interaction entre

l'animal, les microbes du rumen et des particules fines du fourrage ainsi que certains teneurs en constituants chimiques à action moussante. Elle se caractérise par la formation d'une mousse visqueuse et persistante dans le rumen qui empêche l'évacuation des gaz (Wang *et al.*, 2012). Cette accumulation des gaz dans le rumen altère les fonctions digestive et respiratoire de l'animal pouvant entraîner sa mort rapide par suffocation. La météorisation se produit le plus souvent lorsque les ruminants ingèrent des fourrages pauvres en fibres et riches en protéines et le plus souvent avec des légumineuses au stade végétatif. Le facteur ou la combinaison de facteurs responsable du météorisme n'a pas encore été clairement identifié(e), empêchant de disposer d'un ou plusieurs indicateurs fiables du risque de météorisation. Les facteurs causaux potentiels seraient une forte concentration en protéines solubles (et notamment en protéines 18s) et/ou en glucides solubles, la présence de saponines, l'absence de tanins condensés ou une vitesse de dégradation dans le rumen rapide (Coulman *et al.*, 2000). La météorisation peut également se produire chez des animaux à l'engraisement recevant une ration riche en grains et pauvres en fibres.

L'alcalose [3^e critère] est la conséquence d'une ingestion excessive d'azote soluble entraînant la production d'une grande quantité d'ammoniac dans le rumen qui empoisonne l'animal. Dans les principaux systèmes d'alimentation, le bilan azoté à la sortie du rumen appelé balance protéique du rumen, est utilisé comme indicateur du déficit éventuel en azote dégradable, mais il peut également être utilisé comme indicateur d'un risque d'excès d'ammoniac (Sauvant et Nozière, 2013).

La cétose [4^e critère] est une maladie métabolique due à l'élévation de la teneur en corps cétoniques dans le sang, consécutive à la concomitance d'une mobilisation importante des réserves corporelles et du besoin important en glucose par les tissus producteurs (mamelle chez la vache au pic de lactation, fœtus chez les caprins prolifiques en fin de gestation).

Parasitisme (un critère). Certains métabolites secondaires (composés phénoliques, tanins) contenus dans certaines plantes présenteraient des propriétés antiparasitaires (Hoste *et al.*, 2006) notamment contre les strongles digestives. Ces parasites, très répandus chez les ruminants pâturant, causent des pertes économiques importantes dans les élevages et ils sont de plus en plus résistants aux traitements chimiques. Les propriétés anthelminthiques des tanins concernent principalement des légumineuses fourragères comme le sainfoin, le lotier ou le sulla (Piluzza *et al.*, 2014).

Stress oxydant (un critère). Le stress oxydant serait impliqué dans l'étiologie de différentes maladies infectieuses ou inflammatoires ou dans divers problèmes de production chez les ruminants (infertilité, baisse de performances...). Il est établi aujourd'hui que les antioxydants endogènes ou exogènes peuvent fortement réduire la prévalence de ces troubles (Celi, 2010 ; Durand *et al.*, 2013). La production d'antioxydants dans l'organisme étant limitée, la consommation d'aliments riches en antioxydants serait essentielle pour réduire le stress oxydant. Or, les plantes contiennent de nombreux composés ayant des propriétés antioxydantes (Mulligan et Doherty, 2008) : caroténoïdes, vitamines, polyphénols.

Reproduction (un critère). Les nutriments jouent un rôle important dans la régulation des fonctions de reproduction. L'apport de certains nutriments ou la mise en place de stratégies nutritionnelles spécifiques permettraient de restaurer la fertilité et d'augmenter les chances de reproduction (Dupont *et al.*, 2016). Ainsi, une cause fréquente d'infertilité des vaches laitières est une déficience énergétique excessive en début de lactation liée à un bilan énergétique trop négatif des animaux. Inversement, certains composés présents dans les plantes, comme les phyto-œstrogènes, diminueraient les performances de reproduction chez les brebis, chèvres et vaches car ils seraient à l'origine de modifications des organes génitaux, de troubles ovariens et d'avortements (Adams, 1995 ; Ponter *et al.*, 2013 ; Reed, 2016).

c. Les rejets dans l'environnement

Les principaux polluants issus de l'élevage sont le phosphore, les nitrates, le protoxyde d'azote, le méthane, l'ammoniac et le potassium (synthèse de Tamminga, 2003). Ainsi pour la dimension « rejets dans l'environnement », les trois critères proposés sont la limitation des émissions de méthane, la réduction des pertes azotées urinaire et fécale et la limitation des quantités de minéraux excrétés (phosphore et potassium principalement). De nombreux modèles empiriques (Sejian *et al.*, 2011 ; Waldrip *et al.*, 2013 ; Sauvart *et al.*, 2015) ou mécanistes (Faverdin *et al.*, 2003 ; Sejian *et al.*, 2011) ont été développés ces dernières années pour estimer les rejets d'azote et de méthane à partir de caractéristiques des rations et des animaux et ces réponses sont proposées dans plusieurs systèmes d'alimentation (tableau 1).

Le phosphore est essentiellement excrété dans les fèces, le phosphore urinaire étant généralement faible (Bravo *et al.*, 2003). Plusieurs équations ont été proposées pour estimer les rejets de phosphore à partir des quantités ingérées (Bravo *et al.*, 2013 ; Klop *et al.*, 2013). Le potassium est principalement excrété dans l'urine, le potassium présent dans les fèces correspondant à la part indigestible de la ration. Peu de modèles existent pour estimer les rejets de potassium et prévoient les quantités rejetées à partir des quantités ingérées. (Bannink *et al.*, 1999 ; Kojima *et al.*, 2005). La prévision des rejets de minéraux nécessite de connaître les apports en minéraux, et donc les teneurs en minéraux des aliments qui sont peu souvent mesurées. Les tables proposent des valeurs de teneurs en minéraux. Cependant, les teneurs en minéraux des aliments sont variables et dépendent de nombreux facteurs environnementaux (climat, sols, pratiques de cultures) et technologiques empêchant de fournir des références détaillées dans les tables de valeur des aliments.

d. La qualité des produits

Définir les dimensions pour la qualité du lait est plus difficile car l'origine de la qualité est complexe et multifactorielle

et certains aspects sont encore mal connus. Par ailleurs, les objectifs de qualité peuvent être différents selon le devenir du produit. Par exemple, les critères de qualité sont différents pour un lait utilisé pour produire du lait UHT ou un fromage AOP. Ainsi, les critères se sont focalisés sur la qualité du lait excluant les produits dérivés du lait et sur des critères où l'alimentation avait un effet marqué et prouvé. Trois dimensions sont proposées :

Qualité nutritionnelle du lait (quatre critères). Les consommateurs sont de plus en plus concernés par les relations entre l'alimentation et leur santé, ce qui accroît leur intérêt pour la valeur nutritionnelle des produits laitiers. Le lait est une source potentielle d'acides gras, de protéines, de vitamines ou de caroténoïdes, nutriments intéressants pour la santé humaine et dont la teneur peut être influencée par l'alimentation des animaux. Les deux premiers critères proposés portent sur la teneur en protéines [critère 1] et en matière grasse totale [critère 2]. Peu de systèmes d'alimentation proposent des modèles de prévision de la réponse du Taux Protéique (TP) et du Taux Butyreux (TB). Dans le système INRA, les réponses du TP sont basées sur les différences entre les apports et les besoins en énergie et protéine correspondant au potentiel de production de l'animal, et intègrent également les réponses marginales aux principaux acides aminés limitants ; une approche similaire pourrait être développée pour le TB ainsi que pour le taux de lactose à partir des lois de réponses disponibles.

Les deux autres critères sont la composition en acides gras [critère 3] et en micronutriments du lait [critère 4]. Le lait est riche en acides gras saturés, augmenter sa teneur en acides gras insaturés est donc recherché pour améliorer la qualité nutritionnelle du lait. De nombreuses études ont démontré que le profil en acides gras du lait était modulé par la qualité des acides gras ingérés (Dewhurst *et al.*, 2006 ; Moloney, 2012 ; Schmidely *et al.*, 2018). Afin d'optimiser les rations en fonction de la composition en acides gras, il est nécessaire de connaître la teneur et la composition en acides gras des aliments. Les tables

du NorFor (2011) et INRA (2018) proposent des valeurs de teneurs en acides gras pour les aliments. Par ailleurs, des équations de prévision de la teneur en acides gras totaux et de la composition en acides gras majeurs des fourrages ont été établies en fonction des principaux facteurs de variation de ces variables : famille botanique, stade de récolte, mode de conservation (Maxin *et al.*, 2013).

La vitamine A est produite dans les cellules intestinales à partir du β -carotène. En l'absence de Complément Minéral et Vitaminique (CMV), la teneur en vitamine A du lait est principalement liée à la quantité de β -carotène ingéré par l'animal : Calderon *et al.* (2007) ont observé chez la vache laitière une relation linéaire entre les quantités ingérées de β -carotène et la teneur en vitamine A dans le lait. Cependant, l'apport dans le CMV est la source principale de vitamine A et impacte fortement la teneur en vitamine A du lait.

Les vitamines B sont des cofacteurs de nombreuses voies métaboliques (Graulet, 2014). Les publications sur les effets de l'alimentation sur les teneurs en vitamines B dans le lait sont peu nombreuses. Il est cependant maintenant avéré que la teneur en certaines vitamines B dans le lait varie avec la composition de la ration (Chassaing *et al.*, 2011 ; Duplessis *et al.*, 2016).

Qualité sensorielle (deux critères). La qualité sensorielle du lait peut être affectée par le transfert de certains composés des aliments directement dans le lait, modifiant le goût ou l'apparence du produit. Certains aliments (crucifères, huiles de poisson...) sont connus pour causer ces défauts (Urbach, 1990 ; Dubroeuq *et al.*, 2002). La couleur du lait est aussi un critère important de sa qualité. Les caroténoïdes des plantes contribuent à la couleur de la matière grasse du lait. Il est connu depuis longtemps que la couleur du beurre varie en fonction de la saison (rations de pâturage vs hivernales) ; plus récemment plusieurs auteurs ont observé chez la vache laitière une relation positive entre la quantité de caroténoïdes ingérés et la couleur jaune du lait (Nozière *et al.*, 2006 ; Calderon *et al.*, 2007).

Stabilité des produits (un critère).

L'oxydation des matières grasses du lait entraîne une saveur indésirable, diminue la valeur nutritionnelle et la durée de vie du produit. Les antioxydants présents dans le lait comme la vitamine E, les caroténoïdes et les polyphénols peuvent réduire l'oxydation des matières grasses et donc améliorer la stabilité du produit (Rafalowski *et al.*, 2014). Les teneurs en vitamine E et caroténoïdes du lait sont directement liées aux quantités ingérées par l'animal. Les polyphénols proviennent à la fois de la ration (forme native ou plus généralement après métabolisation par les micro-organismes dans le rumen) et du métabolisme endogène des animaux (composés dérivés des acides aminés aromatiques par exemple, Besle *et al.*, 2010). Les composés phénoliques sont hydrosolubles, leur effet antioxydant sur la matière grasse du lait serait donc plus faible.

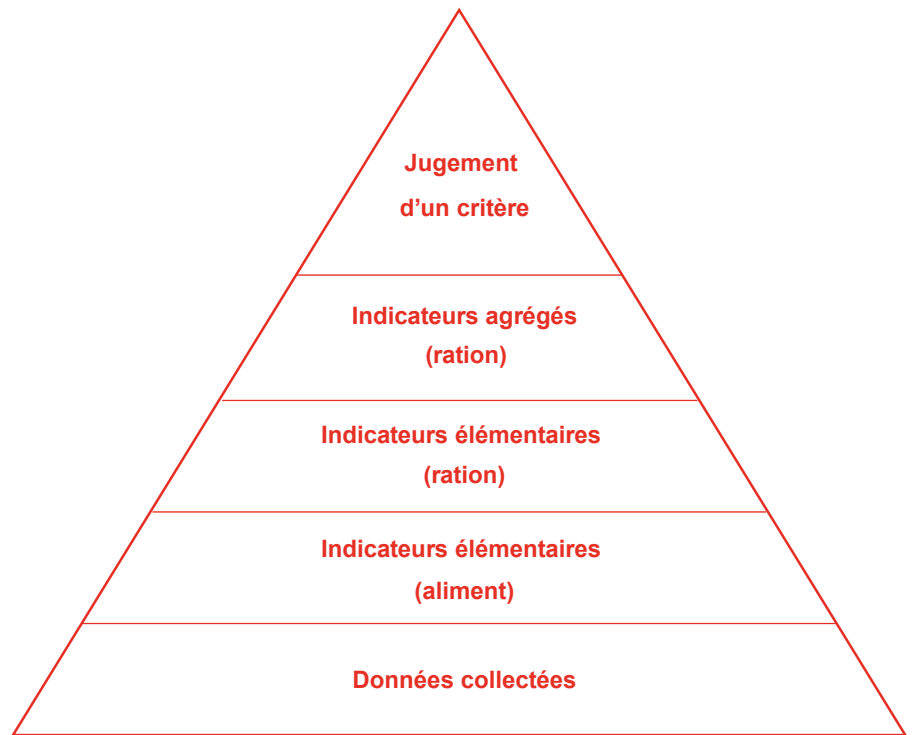
3. Passage des critères aux indicateurs

■ 3.1. Quels types d'indicateurs pour l'évaluation multicritère ?

L'étape suivante dans la construction de l'évaluation multicritère consiste à définir les indicateurs qui permettent de juger de chacun des critères. L'évaluation des rations et non des aliments nécessite le recours à des indicateurs avec plusieurs niveaux d'agrégation (figure 2). Les données brutes collectées sont des variables décrivant les aliments et l'animal cible. Les indicateurs élémentaires synthétisent ces données d'abord à l'échelle de l'aliment (par exemple, la digestibilité ou la dégradabilité des différents aliments) ; puis à l'échelle de la ration (par exemple, la digestibilité ou la dégradabilité de la ration). Enfin, l'indicateur agrégé correspond à l'information qui sera interprétée pour juger le critère. Pour certains critères, les données collectées correspondront aux indicateurs élémentaires « aliment » et/ou les indicateurs élémentaires « ration » et les indicateurs agrégés seront confondus.

Les indicateurs élémentaires utilisés dans l'évaluation multicritère sont des indicateurs de moyen car ils sont focalisés

Figure 2. Des données collectées au jugement du critère : schéma des différents niveaux d'agrégation de l'information.



sur des caractéristiques de la ration pour prévoir les réponses de l'animal. Des indicateurs d'effets peuvent également être utilisés pour évaluer les rations, comme par exemple dans l'outil ObsAlim (Jardine, 2016) qui permet le diagnostic alimentaire à partir de l'observation directe des ruminants. Cependant, ces indicateurs d'effets ne sont pas compatibles avec notre objectif de développement d'un outil d'optimisation des rations.

Les indicateurs élémentaires peuvent être de nature différente, quantitatifs (ex. la teneur en matières azotées totales) ou qualitatifs (ex. mode de distribution de l'aliment) et mesurés, calculés, prédits ou déclarés. Les indicateurs agrégés sont interprétés par comparaison à des valeurs seuils définies par la bibliographie ou par expertise ou par comparaison entre des apports et des besoins. Plusieurs indicateurs agrégés peuvent être nécessaires pour juger un critère (voir exemples ci-dessous).

Le **tableau 3** présente deux exemples issus du système d'alimentation INRA (2018) d'interprétation d'un critère à partir des données collectées sur les aliments. Ces deux critères peuvent s'appliquer à tous les ruminants.

Exemple 1 : Évaluation d'un risque d'acidose. Le risque d'acidose de la ration est évalué par l'indice de risque d'acidose (IRA = indicateur agrégé). Cet indice correspond à la moyenne des notes de risque d'acidose de différents indicateurs élémentaires de la ration (la balance électrolytique, l'amidon digestible dans le rumen, la matière organique dégradée issue de l'aliment concentré, la proportion de concentrés, la taille des particules, la teneur en NDF de la ration, la part de fibre apportée par les fourrages) décrits par Sauvont et Peyraud (2010) et calculés à partir de mesures sur les aliments constituant la ration. Pour chacun de ces indicateurs de la ration deux valeurs seuil ont été définies sur la base de lois de réponse du pH à ces indicateurs, pour définir trois notes de risque d'acidose : risque nul (note = 0), risque faible (note = 1) et risque élevé (note = 2). La ration présentera un index de risque d'acidose (IRA = moyenne des notes de risque) compris entre 0 (risque nul) et 2 (risque élevé).

Exemple 2 : Préviation des rejets azotés urinaires. Deux indicateurs agrégés sont fournis pour évaluer les rejets azotés urinaires d'une ration. Le premier est basé sur le niveau global d'excrétion d'azote

Tableau 3. Exemple de construction d'indicateurs pour deux critères de l'évaluation multicritère des rations.

	Critères	
	Risque d'acidose (INRA, 2018)	Rejets d'azote urinaire (INRA, 2018)
Données collectées sur les aliments	Teneurs en matière organique, en NDF, en amidon et en minéraux, taille des particules	Teneurs en MAT et autres constituants organiques (acides gras, amidon, produits de fermentation)
Indicateurs élémentaires « aliment »	Dégradabilité de la matière organique et de l'amidon	Teneur en matière organique fermentescible, digestibilité des fractions organiques, dégradabilité de l'azote
Indicateurs élémentaires « ration »	Teneur en NDF de fourrage et en amidon digestible dans le rumen, MO dégradable dans le rumen, proportion de concentrés, balance électrolytique	Teneur en PDI, Balance Protéique du Rumen (BPR)
Indicateurs agrégés	IRA : Indice de Risque d'Acidose. Il correspond à la moyenne des notes de risque d'acidose associées à chaque indicateur élémentaire de la ration (Sauvant et Peyraud, 2010)	La quantité d'azote urinaire (NU, en g/kg PV) et le rapport entre les deux principales origines des pertes d'azote : N digestif/N métabolique (RNU)
Interprétation de l'indicateur agrégé	L'IRA est compris entre 0 (risque nul) et 2 (risque élevé).	NU > 0,40 et RNU > 1,0 indiquent une ration présentant un excès important d'azote.

urinaire (NU) et distingue les situations d'excès modérés d'azote ($0,30 \text{ g N/kg PV} < \text{NU} < 0,40 \text{ g N/kg PV}$) et les situations d'excès importants ($\text{NU} > 0,40 \text{ g N/kg PV}$). Le deuxième indicateur (RNU) diagnostique l'origine des pertes d'azote digestive ou métabolique. Une ration correctement équilibrée a une valeur de RNU entre 0,3 et 1,0. Si RNU est supérieur à 1, il y a un excès très important d'azote fermentescible dans le rumen. Ces deux critères sont estimés *via* des indicateurs élémentaires de la ration, calculés à partir de mesures sur les aliments. Les valeurs seuil ont été établies par méta-analyse à partir de données publiées. Ces valeurs indiquent un excès d'azote au niveau de l'animal, l'effet réel induit sur l'environnement est à moduler en fonction du contexte (nombre d'animaux, chargement, pâturages ou rations hivernales...) et donc de l'utilisateur.

Ces deux exemples montrent que pour traduire un critère en un (ou plusieurs) indicateur(s), différentes conditions doivent être remplies :

L'information scientifique pour interpréter les indicateurs agrégés doit être disponible en quantité suffisante et

représentative des contextes alimentaires du terrain (par exemple, existence de données pour définir des seuils dont il faut s'éloigner ou de références valides pour toutes les espèces) ;

les indicateurs doivent être pertinents pour mesurer les effets qu'ils doivent évaluer. Cela nécessite de connaître les réponses de l'animal aux régimes pour le critère considéré et d'identifier le (ou les) indicateur(s) élémentaire(s) à l'échelle de l'aliment approprié(s) à collecter ;

les indicateurs élémentaires doivent être faciles et peu coûteux à renseigner/ caractériser pour tous les aliments de la ration.

■ 3.2. Développement des indicateurs de l'évaluation multicritère des rations

Pour certains des critères présentés dans le [tableau 2](#), les indicateurs sont connus et interprétables pour juger le critère (*i.e.* production animale, risque d'acidose, rejets de méthane et d'azote). Pour d'autres critères, les indicateurs ne sont pas identifiés ou pas interprétables

ou il n'est pas possible de caractériser l'indicateur élémentaire pour tous les aliments. Certains indicateurs existants pourraient également être améliorés. Nous présentons donc dans cette partie quelques travaux de recherche à mettre en place sur les indicateurs.

a. Construire les indicateurs pour certains critères de santé

De nombreuses revues révèlent un intérêt pour améliorer la santé des animaux. Cependant, les réponses des animaux à plusieurs critères de santé ne sont aujourd'hui pas établies.

Comme mentionné précédemment, les indicateurs du risque de météorisation ne sont pas identifiés. De même, les connaissances actuelles sur l'effet anthelminthique des tanins ne permettent pas de définir des recommandations d'apports. L'effet anthelminthique des tanins serait lié *i)* à la capacité des tanins à se lier aux protéines de la cuticule des vers ou de la gaine des larves inhibant leur développement et, d'autre part, aux enzymes secrétées par les vers, bloquant ainsi leur activité (Hoste *et al.*, 2006) ; et *ii)* à la stimulation de la réponse immunitaire des animaux

(Provenza et Villalba, 2010). Cependant, une variabilité importante des réponses animales est observée, elle est attribuée notamment à des facteurs liés à l'hôte, ainsi qu'à la teneur et à la structure des tanins des plantes (Quijada *et al.*, 2015). Il est donc nécessaire de compléter ces résultats afin de préciser les conditions d'emploi des tanins dans la ration.

Beaucoup des composés antinutritionnels pour les ruminants sont aujourd'hui identifiés. Cependant, évaluer le risque lié à ces composés est une tâche complexe du fait de la diversité des composés potentiellement antinutritionnels, la variabilité des teneurs dans les aliments en fonction des conditions de culture ou de fabrication et de la variabilité de la réponse animale à l'ingestion de ces composés.

Même s'il est admis que l'apport d'antioxydants par la ration permet de maintenir la capacité antioxydante et lutter contre les effets du stress oxydant, le lien entre l'apport d'antioxydants et une amélioration de la capacité antioxydante n'est toujours pas clairement démontré chez les ruminants car des résultats contradictoires (Haga *et al.*, 2016) ont été observés d'une part, en raison de la diversité des antioxydants présents dans les plantes et dont les modifications dans le rumen peuvent fortement moduler la biodisponibilité, et d'autre part, en raison d'un manque de méthode fiable pour mesurer la capacité antioxydante chez des ruminants. Les teneurs en composés antioxydants des rations peuvent être considérées comme des indicateurs potentiels de la valeur antioxydante des rations. Cependant, la composition des aliments en ces composés a été peu étudiée (cf. paragraphe suivant). Des méthodes de mesure indirecte du pouvoir antioxydant total des aliments existent (Dudonné *et al.*, 2009 ; Reynaud *et al.*, 2010) : ORAC (oxygen radical absorbance capacity), DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl), Folin, TEAC (Trolox® équivalent antioxidant capacity)... La valeur antioxydante réelle des résultats obtenus par ces méthodes n'est pas connue pour les ruminants. Des travaux sont donc nécessaires pour identifier un (ou plusieurs) indicateur(s) de la valeur antioxydante

des aliments et des rations pour les ruminants, c'est-à-dire d'identifier les mesures sur les aliments qui permettraient d'avoir la meilleure estimation de la valeur antioxydante réelle *in vivo* de ces mêmes aliments. Compte tenu de la complexité des processus d'oxydation et la diversité des antioxydants présents dans les plantes, il est probable qu'il faille combiner différentes mesures pour avoir une indication robuste de la valeur antioxydante des aliments.

b. Caractériser la composition en micronutriments des aliments

Les polyphénols, les tanins, les caroténoïdes et la vitamine E ont des effets potentiels sur la santé des animaux et la qualité des produits (cf. paragraphe 2.2). Ces composés sont des métabolites secondaires des plantes. Ils ne contribuent pas à leur nutrition, ni à leur croissance, mais participent à des fonctions annexes (défense face aux prédateurs, aux pathogènes, à des stress environnementaux, attraction des insectes pollinisateurs ; Farruggia *et al.*, 2008). Or, les teneurs en ces composés dans les aliments et leurs facteurs de variation ont été peu étudiés et restent mal connus. Afin de connaître les quantités ingérées de ces composés par les animaux, il serait intéressant de pouvoir inclure les teneurs en l'ensemble de ces composés dans les tables d'alimentation. Les tables des pays du nord de l'Europe (NorFor, 2011) et les tables INRA (2018) proposent pour certains aliments des valeurs en β -carotène, vitamines A, D et E.

Les teneurs en caroténoïdes des concentrés sont faibles (Nozière *et al.*, 2006) en comparaison des teneurs des fourrages et notamment l'herbe verte qui est la source la plus riche en caroténoïdes (jusqu'à 1 200 mg/kg MS, Graulet *et al.*, 2012 ; Maxin *et al.*, 2017). Plusieurs facteurs influencent la teneur en caroténoïdes des fourrages : l'espèce végétale, le stade de récolte, les conditions de culture et de conservation (Nozière *et al.*, 2006 ; Graulet *et al.*, 2012) : les teneurs en caroténoïdes totaux diminuent avec l'évolution du stade de végétation et sont plus faibles dans les foin et ensilages que dans les fourrages verts. Les teneurs en vitamine

E des concentrés seraient également faibles (sauf pour les oléagineux) en comparaison des fourrages (jusqu'à 250 mg/kg MS, Graulet *et al.*, 2012). Les teneurs sont plus faibles dans les fourrages conservés. En revanche, les effets du stade de végétation et de l'espèce sur les teneurs en vitamine E sont moins clairs.

Les connaissances actuelles sur les teneurs en composés phénoliques des fourrages sont maigres. Les composés phénoliques représentent une large famille de composés des plantes : plus de 800 molécules seraient identifiées aujourd'hui (Tsao, 2010). Ces composés sont produits par les plantes dans des conditions particulières de stress et à certains stades phénologiques, les teneurs et compositions en composés phénoliques sont donc très diverses en fonction des espèces, des stades de végétation et des conditions de culture. Il semblerait cependant que la teneur en composés phénoliques totaux soit plus élevée dans les dicotylédones que dans les graminées et cette teneur diminuerait avec le stade de végétation (Reynaud *et al.*, 2010 ; Graulet *et al.*, 2012).

Au final, les données disponibles sur ces micronutriments sont à regrouper et compléter afin de mettre en évidence et quantifier les principaux facteurs de variation de leurs teneurs dans les aliments, puis d'inclure des teneurs dans les tables d'alimentation.

c. Améliorer la prévision de l'ingestion des fourrages

Une enquête réalisée auprès de scientifiques, d'ingénieurs et de conseillers agricoles (Maxin, 2015) a révélé que la prévision de l'ingestion des fourrages par les animaux à partir des tables INRA manquait de précision. Ceci peut être lié à l'estimation de l'ingestibilité des fourrages et/ou à l'estimation de la capacité d'ingestion de ces animaux.

En ce qui concerne l'ingestibilité des fourrages, sa prévision à partir d'une analyse chimique est en effet moins précise que celle de la digestibilité (Baumont *et al.*, 2018). Plusieurs raisons peuvent expliquer cela : i) la variabilité de la mesure de l'ingestibilité chez

l'animal (le mouton généralement) qui est plus importante que celle de la digestibilité ; *ii*) l'ingestibilité des fourrages varie avec leur effet d'encombrement mais pas uniquement. Cet effet d'encombrement peut être assimilé au temps de séjour du fourrage dans le rumen. Un critère caractérisant l'encombrement digestif des aliments basé sur le temps de séjour dans le rumen mesuré par la méthode *in sacco* a été proposé pour prévoir leur ingestibilité (Madsen *et al.*, 1994 ; Baumont *et al.*, 2002), mais son pouvoir explicatif n'est pas supérieur à celui des critères de composition chimique comme la teneur en parois végétales totales du fourrage (Baumont *et al.*, 2002). On peut noter que ce critère, basé sur la mesure de la dégradation d'un aliment préalablement broyé, n'intègre pas le temps nécessaire à la réduction de la taille des particules. Une piste de travail pourrait consister à combiner ce critère basé sur les mesures *in sacco* avec un critère caractérisant la finesse de hachage des fourrages dont l'effet sur leur ingestion est bien connu (Jarrige *et al.*, 1995 ; Allen, 1996).

Il serait également intéressant de chercher à prendre en compte le rôle des caractéristiques organoleptiques (goût, odeur, saveur), mais aussi de certaines caractéristiques physiques comme la texture et la taille des particules des fourrages dans la prévision de leur ingestion. En effet, on sait que les caractéristiques sensorielles des aliments affectent le comportement alimentaire des ruminants et notamment l'ingestion, *via* à la fois la préférence intrinsèque de l'animal pour l'aliment et une modulation de cette préférence selon son expérience vis-à-vis de cet aliment, en particulier par l'association que l'animal fait entre les caractéristiques sensorielles des aliments et leurs conséquences post-ingestives (Provenza, 1995 ; Favreau-Peigné *et al.*, 2013). Le rôle des caractéristiques sensorielles n'est donc pas indépendant de celui des caractéristiques nutritionnelles ce qui complexifie sa prise en compte dans la prévision de l'ingestion des aliments. De même, certains goûts, comme le sucré et l'umami (goût du monosodium glutamate) sont connus pour stimuler l'ingestion des animaux

(Favreau *et al.*, 2010) et on pourrait en rechercher des indicateurs dans les aliments.

4. Perspectives – étapes suivantes pour le développement de l'évaluation multicritère des rations

Nous avons proposé un premier jeu de 24 critères adaptés aux ruminants laitiers pour évaluer les rations sur les quatre catégories de réponses : performance et santé animales, rejets et qualité du lait. Pour certains critères, les indicateurs sont connus, facilement disponibles et interprétables pour juger le critère. Pour les autres critères, notamment pour plusieurs critères de santé et de qualité des produits, des pistes de travaux sont identifiées pour développer les indicateurs. Ce travail montre qu'il est possible à partir d'un nombre limité de mesures sur les aliments et les animaux de pouvoir évaluer tous les critères proposés. Des travaux sont cependant nécessaires pour affiner le jeu de critères à évaluer et l'étendre aux autres ruminants. L'adéquation de ces critères avec les attentes du terrain devra également être examinée.

Une évaluation multicritère des rations doit permettre de discriminer les rations sur les différentes réponses. Cette finalité nécessite une agrégation plus ou moins complète des critères afin d'émettre un jugement global : le choix d'une ration. L'agrégation s'appuie sur deux raisonnements différents et complémentaires (Lairez *et al.*, 2017) : la pondération et les compensations entre critères. Cela nécessitera de prioriser certains critères par rapport à d'autres. Par exemple, la couverture des besoins nutritifs ou la limitation des risques d'intoxication pourront être priorisées face à la minimisation des rejets. Le coût de la ration, ou mieux encore la marge de transformation des ressources alimentaires en produits commercialisés, pourrait également être un critère prioritaire de l'évaluation. La gestion des compensations consiste à savoir jusqu'à quel point la mauvaise performance obtenue pour un critère

peut être compensée par une bonne performance pour un autre. La question des compensations se posera notamment pour les critères avec des effets antagonistes. Par exemple, les rations à base d'herbe pâturée améliorent la qualité nutritive du lait, mais ont des effets défavorables sur les rejets d'azote et de méthane. Les priorités de formulation d'une ration étant différentes selon les élevages, le choix des pondérations et compensations pourrait être laissé à l'utilisateur, notamment pour l'agrégation inter-dimensions. Ceci impliquerait d'intégrer une modulation des priorités en fonction de l'utilisateur cible. Toutes ces considérations nécessitent une approche méthodologique spécifique et le recours à des outils mathématiques adaptés issus de l'optimisation multi-objectif et donc d'avoir recours à de nouvelles compétences.

Au-delà des trajectoires potentielles des animaux (courbes de lactation, de croissance et de mobilisation des réserves), les systèmes d'alimentation existants intègrent encore peu les phénomènes dynamiques se déroulant sur des échelles de temps de plusieurs semaines ou du mois. Or, les fonctions biologiques associées à la digestion, la croissance et la lactation se caractérisent parfois par des effets rémanents, en particulier à travers les réserves énergétiques corporelles. Cela signifie que les effets d'une ration peuvent pendant un certain temps être liés à un effet instantané, mais également à des influences de la période précédente de la vie de l'animal (ration différente, stade physiologique...). Par exemple, la qualité de la viande à l'abattage est la conséquence des stratégies alimentaires sur la croissance complète de l'animal (Lebret *et al.*, 2015). La majorité des données expérimentales disponibles aujourd'hui en alimentation des ruminants sont de nature statique (moyenne sur une période de temps) et ne permettent pas l'étude des phénomènes dynamiques. En effet, beaucoup des résultats reportés dans les publications sont issus d'expérimentations réalisées sur une période de temps limitée. Bien que des modèles de simulation de croissance ou de lactation existent aujourd'hui (Hoch et Agabriel, 2004 ; Martin et Sauvart, 2010), ils

ne permettent pas de considérer aujourd'hui ces aspects dynamiques au sein d'un système d'alimentation pour l'évaluation de l'ensemble des impacts temporels des rations. Des travaux sont donc nécessaires afin de pouvoir mieux intégrer cette composante dynamique dans la prévision des réponses animales aux régimes.

Conclusion

L'alimentation des ruminants doit aujourd'hui être raisonnée pour améliorer la santé et le bien-être des animaux, limiter les impacts sur l'environnement et accroître la qualité des produits animaux. Les systèmes d'alimentation évoluent pour intégrer ces nouvelles réponses et aller vers une formulation multiobjectif des rations.

Références

Adams N.R., 1995. Detection of the effects of phytoestrogens on sheep and cattle. *J. Anim. Sci.*, 73, 1509-1515.

Allen M.S., 1996. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.*, 74, 3063-3075.

Bannink A., Valk H., Van Vuuren A.M., 1999. Intake and excretion of sodium, potassium, and nitrogen and the effects on urine production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 82, 1008-1018.

Barry T.N., 2013. The feeding value of forage brassica plants for grazing ruminant livestock. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 181, 15-25.

Baumont R., Le Morvan A., Dulphy J.P., Sauvant D., 2002. Development of a simple mechanistic model in order to improve prediction of forage fill effect and voluntary intake. *Grassl. Sci. Europe*, 7, 238-239.

Baumont R., Tran G., Chapoutot P., Maxin G., Sauvant D., Heuzé V., Lemosquet, S., Lamadon A., 2018. Chap. 25. INRA feed tables used in France and temperate areas. In: *INRA Feeding System for Ruminants*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

Bell E.A., 2003. Non protein amino acids of plants: significance in medicine, nutrition, and agriculture. *J. Agric. Food Chem.*, 51, 2854-2865.

Besle J.M., Viala D., Martin B., Pradel P., Meunier B., Berdagué J.L., Fraisse D., Lamaison J.L., Coulon J.B., 2010. Ultraviolet-absorbing compounds in milk are related to forage polyphenols. *J. Dairy Sci.*, 93, 2846-2856.

Boudon A., Graulet B., Giger-Reverdin S., Archimède H., Meschy F., 2018. Minerals, vitamins and water

L'évaluation multicritère est une méthode qui permet de fournir un jugement global à partir d'une combinaison de différents critères. Cette méthode est appropriée au développement d'une optimisation multiobjectif des rations car elle permet de considérer simultanément toutes les réponses et de proposer une interprétation de l'ensemble de ces dernières. Ainsi, nous avons appliqué les principes de construction d'une évaluation multicritère aux rations des ruminants. Ce travail a permis de définir le cadre conceptuel d'une telle évaluation et de proposer un premier jeu de critères adapté aux ruminants laitiers. Les indicateurs à mesurer à l'échelle des aliments pour évaluer ces critères ont été identifiés et des pistes de travaux à mettre en place pour développer certains de ces indicateurs sont proposées.

requirements. Chap. 8. In: *INRA Feeding System for Ruminants*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

Bravo D., Sauvant D., Bogaert C., Meschy F., 2003. Quantitative aspects of phosphorus excretion in ruminants. *Reprod. Nutr. Dev.*, 43, 285-300.

Brody S., 1945. *Bioenergetics and growth*. Reinhold Publishing Corporation, New York, USA, 1023p.

Calderon F., Chauveau-Duriot B., Martin B., Graulet B., Doreau M., Nozière P., 2007. Variations in carotenoids, vitamin A and E, and color in cow's plasma and milk during late pregnancy and the first three months of lactation. *J. Dairy Sci.*, 90, 2335-2346.

Celi P., 2010. The role of oxidative stress in small ruminants health and production. *Rev. Bras. Zoot.*, 39, 348-363.

Chakwizira E., Johnstone P., Fletcher A.L., Meenken E.D., de Ruiter J.M., Brown H.E., 2015. Effects of nitrogen rate on nitrate-nitrogen accumulation in forage kale and rape crops. *Grass Forage Sci.*, 70, 268-282.

Chassaing C., Graulet B., Agabriel C., Martin B., Girard C.L., 2011. Vitamin B9 and B12 contents in cow milk according to production system, p35-36. *Proceedings of the 10th International Meeting on Mountain Cheese*, 14-15 September 2010, Dronero, Italy.

Coulman B.E., Goplen B.P., Majak W., McAllister T.A., Cheng K.J., Berg B.P., Hall J., McCartney D., Acharya S.N., 2000. A review of the development of a bloat-reduced alfalfa cultivar. *Can. J. Plant Sci.*, 80, 487-491.

CVB, 2011. *Chemical compositions and nutritional values of feed materials*. Product Board Animal Feed, Zoetermeer, the Netherlands, 717p.

Ce travail constitue une première approche vers l'optimisation multiobjectif des rations des ruminants. D'autres travaux sont, cependant, nécessaires avant de pouvoir disposer d'un outil pratique de formulation multiobjectif des rations. Il faudra notamment définir les règles pour l'agrégation et/ou les compensations des critères.

Remerciements

Les auteurs remercient toutes les personnes consultées (chercheurs, ingénieurs service ruminants, ingénieurs en développement, conseillers agricoles) pour leur aide dans la construction du jeu de critères.

Dewhurst R.J., Shingfield K.J., Lee M.R.F., Scollan N.D., 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 131, 168-206.

Dubroeuq H., Martin B., Ferlay A., Pradel P., Verdiez-Metz I., Chilliard Y., Agabriel J., Coulon J.B., 2002. L'alimentation des vaches est susceptible de modifier les caractéristiques sensorielles du lait. *Renc. Rech. Rum.*, 9, 351-354.

Dudonné D., Vitrac X., Coutiere P., Woillez M., Merillon J.M., 2009. Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *J. Agric. Food Chem.*, 57, 1768-1774.

Dunière L., Sindou J., Chaucheyras-Durand F., Chevallier I., Thévenot-Sergentet D., 2013. Silage processing and strategies to prevent persistence of underisable microorganisms. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 182, 1-5.

Duplessis M., Pellerin D., Cue R.I., Girard C.L., 2016. Short communication: Factors affecting vitamin B12 concentration in milk of commercial dairy herds: An exploratory study. *J. Dairy Sci.*, 99, 4886-4892.

Dupont J., Scaramuzzi R.J., Froment P., 2016. Nutrition et métabolisme : quel lien avec le développement folliculaire et embryonnaire chez les mammifères ? *INRA Prod. Anim.*, 29, 103-116.

Durand D., Damon M., Gobert M., 2013. Le stress oxydant chez les animaux de rente : principes généraux. *Cah. Nutr. Diététique*, 48, 218-224.

Enemark J.M.D., 2008. The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): a review. *Vet. J.*, 176, 32-43.

- Farruggia A., Martin B., Baumont R., Prache S., Doreau M., Hoste H., Durand D., 2008. Quels intérêts de la diversité floristique des prairies permanentes pour les ruminants et les produits animaux ? INRA Prod. Anim., 21, 181-199.
- Faverdin P., M'Hamed D., Vérité, R., 2003. Effects of metabolizable protein on intake and milk yield of dairy cows independent of effects on ruminal digestion. Anim. Sci., 76: 137-146.
- Faverdin P., Delagarde R., Delaby L., Meschy F., 2010. Alimentation des vaches laitières. In : Alimentation des bovins, ovins et caprins – Besoins des animaux – Valeurs des aliments – Tables INRA 2007 – mise à jour 2010. Éditions Quae, Versailles, France, 23-58.
- Favreau A., Baumont R., Ferreira G., Dumont B., Ginane C., 2010. Do sheep use umami and bitter tastes as cues of post-ingestive consequences when selecting their diet? Appl. Anim. Behav. Sci., 125, 115-123.
- Favreau-Peigné A., Baumont R., Ginane C., 2013. Les rôles des caractéristiques sensorielles des aliments dans le comportement alimentaire des ruminants domestiques. INRA Prod. Anim., 26, 25-34.
- Graulet B., 2014. Ruminant milk: a source of vitamins in human nutrition. Animal Frontiers, 4, 24-30.
- Graulet B., Piquet M., Duriot B., Pradel P., Hulin S., Cornu A., Portelli J., Martin B., Farruggia A., 2012. Variations des teneurs en micronutriments de l'herbe de prairies de moyenne montagne et transfert au lait. Fourrages, 209, 59-68.
- Haga S., Nakano M., Nakao S., Hirano K., Yamamoto Y., Sasaki H., Ishizaki H., 2016. Seasonal foraging patterns of forest-grazing Japanese Black heifers with increased plasma total antioxidant capacity. Anim. Sci. J., 87, 209-216.
- Higgs R.J., Chase L.E., Van Amburgh M.E., 2012. Development and evaluation of equations in the Cornell Net Carbohydrate and Protein System to predict nitrogen excretion in lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 95, 2004-2014.
- Hoch T., Agabriel J., 2004. A mechanistic dynamic model to estimate beef cattle growth and body composition: 1. Model description. Agricult. Sys., 81, 1-15.
- Hoste H., Jackson F., Athanasiadou S., Thamsborg S.M., Hoskin S.O., 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. Trends in Parasitology, 22, 253-261.
- INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins – Besoins des animaux – Valeurs des aliments – Tables INRA 2007. Éditions Quae, Versailles, France, 307p.
- INRA, 2018. INRA Feeding System for Ruminants. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Jardine C., 2016. ObsAlim : présentation et tests d'efficacité à court terme dans des élevages bovins laitiers français. Thèse d'exercice, Médecine vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse – ENVT, 2016, 126p.
- Jarrige R., Dulphy J.P., Faverdin P., Baumont R., Demarquilly C., 1995. Activités d'ingestion et de rumination. Chapitre 4 du Traité de Nutrition des Ruminants Domestiques. Jarrige R., Ruckebusch Y., Demarquilly C., Farce M.H., Journet M. (Eds). INRA Éditions, Paris, 123-182.
- Jenkins T.C., McGuire M.A., 2006. Major advances in nutrition: Impact on milk composition. J. Dairy Sci., 89, 1302-1310.
- Journet M., 1988. Optimisation d'une ration. Chapitre 7. Alimentation des bovins, ovins et caprins. INRA Éditions, Paris, France, 121-133.
- Karlengen I.J., Volden H., Rygh A.J., Harstad O.M., 2012. Nitrogen and phosphorus excretion in manure from dairy cows calculated by using NorFor. Proc. 3rd Nordic Feed Sci. Conf., 140-142.
- Kleen J.L., Cannizzo C., 2012. Incidence, prevalence and impact of SARA in dairy herds. Anim. Feed Sci. Technol., 172, 4-8.
- Klop G., Ellis J.L., Bannink A., Kebreab E., France J., Dijkstra J., 2013. Meta-analysis of factors that affect the utilization efficiency of phosphorus in lactating dairy cows. J. Dairy Sci., 96, 3936-3949.
- Kojima H., Kume S., Nonaka K., Oshita T., Kozakai T., Hirooka H., 2005. Effects of feeding and animal performance on nitrogen, phosphorus and potassium excretion by Holstein cows. Anim. Sci. J., 76, 139-145.
- Lairez J., Feschet P., Botreau R., Bockstaller C., Fortun-Lamothe L., Bouvarel I., Aubin J., 2017. L'évaluation multicritère des systèmes d'élevage pour accompagner leurs évolutions : démarches, enjeux et questions soulevées. INRA Prod. Anim., 30, 255-268.
- Lebret B., Prache S., Berri C., Lefevre F., Bauchard D., Picard B., Corraze G., Medale F., Faure J., Alami-Durante H., 2015. Qualité des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leurs conditions d'élevage. In : Numéro spécial, Le Muscle et la viande, Picard B., Lebret B. (Eds). INRA Prod. Anim., 28, 151-168.
- Madsen J., Stensig T., Weisberg M.R., Hvelplung T., 1994. Estimation of the physical fill of feedstuffs in the rumen by the *in sacco* degradation characteristics. Livest. Prod. Sci., 39, 43-47.
- Martin O., Sauvant 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.
- Maxin G., 2015. Quels sont les besoins de recherche sur la valeur des fourrages pour les ruminants ? Analyse d'avis d'experts. Fourrages, 221, 69-76
- Maxin G., Glasser F., Doreau M., Baumont R., 2013. Prédiction de la teneur en matières grasses et de la composition en acides gras des fourrages. Renc. Rech. Rum., 20, 49-52.
- Maxin G., Le Morvan A., Laverroux S., Graulet B., 2017. Nutritive composition, carotenoid, tocopherol and tannin contents of cover crops used as forage plants for ruminants. 12th FAO Mountain Cheese meeting, Padoue, Italy, 20-22/06/2017.
- Moloney A.P., 2012. Potential of animal nutrition to decrease the saturated fatty acids in meat and milk. Lipid Technol., 24, 199-203.
- Mueller-Harvey I., 2006. Review Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. J. Sci. Food Agri., 86, 2010-2037.
- Mulligan F.J., Doherty M.L., 2008. Production diseases of the transition cow. Vet. J., 176, 3-9.
- Nielsen N.I., Volden H., Akerlind M., Hellwing A.L.F., Storlien T., Bertilsson J., 2013. A prediction equation for enteric methane emission from dairy cows for use in NorFor. Acta Agric. Scand., 63, 126-130.
- NorFor, 2011. The Nordic Feed Evaluation System. <http://feedstuffs.norfor.info/>.
- Nørgaard P., Nadeau E., Volden H., Randby Å., Aaes O., Mehlqvist M., 2008. A new Nordic structure evaluation system for diets fed to dairy cows. Grassl. Sci. Europe, 13, 762-764.
- Nozière P., Graulet B., Lucas A., Martin B., Grolier P., Doreau M., 2006. Carotenoids for ruminants: From forages to dairy products. Anim. Feed Sci. Technol., 131, 418-450.
- NRC, 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. Seventh Revised Edition. National Academy Press, Washington, DC, USA, 381p.
- Piluzza G., Sulas L., Bullitta S., 2014. Tannins in forage plants and their role in animal husbandry and environmental sustainability: a review. Grass Forage Sci., 69, 32-48.
- Ponter A., Remy D., Grimard B., 2013. Prévention nutritionnelle des troubles de reproduction chez la vache laitière. Le Point Vétérinaire, 44, 68-78.
- Provenza F.D., 1995. Postingestive feedback as an elementary determinant of food preference and intake in ruminants. J. Range Manage., 48, 2-17.
- Provenza F.D., Villalba J.J., 2010. The role of natural plant products in modulating the immune system: An adaptable approach for combating disease in grazing animals. Small Rum. Res., 89, 131-139.
- Quijada J., Fryganas C., Ropiak H.M., Ramsay A., Mueller-Harvey I., Hoste H., 2015. Anthelmintic activities against *Haemonchus contortus* or *Trichostrongylus colubriformis* from small ruminants are influenced by structural features of condensed tannins. J. Agric. Food Chem., 63, 6346-6354.
- Rafalowski R., Zegarska Z., Kuncewicz A., Borejszo Z., 2014. Oxidative stability of milk fat in respect to its chemical composition. Int. Dairy J., 36, 82-87.
- Reed K.F.M., 2016. Fertility of herbivores consuming phytoestrogen-containing medicago and trifolium species. Agriculture, 6, 35.
- Reynaud A., Fraise D., Cornu A., Farruggia A., Pujos-Guillot E., Besle J.M., Martin B., Lamaison J.L., Paquet D., Doreau M., Graulet B., 2010. Variation in content and composition of phenolic compounds in permanent pastures according to botanical variation. J. Agric. Food Chem., 58, 5485-5494.

- Roy B., 1996. Multicriteria methodology for decision aiding. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands.
- Sauvant D., 1999. Le concept de lois de réponses multiples aux régimes, trait d'union entre les domaines techniques et économiques de l'élevage. *Renc. Rech. Rum.*, 6, 11-17.
- Sauvant D., Peyraud J.L., 2010. Calculs de ration et évaluation du risque d'acidose. *INRA Prod. Anim.*, 23, 333-342.
- Sauvant D., Nozière P., 2013. La quantification des principaux phénomènes digestifs chez les ruminants : les relations utilisées pour rénover les systèmes d'unités d'alimentation énergétique et protéique. *INRA Prod. Anim.*, 26, 327-346.
- Sauvant D., Cantalapiedra-Hijar G., Delaby L., Daniel J.B., Faverdin P., Nozière P., 2015. Actualisation des besoins protéiques des ruminants et détermination des réponses des femelles laitières aux apports de protéines digestibles dans l'intestin. *INRA Prod. Anim.*, 28, 347-368.
- Schmidely P., Ferlay A., Maxin G., Hurtaud C., Peyraud J.L., 2018. Milk fat content and composition. Chapitre 11. In: *INRA Feed. Syst. Ruminants*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.
- Sejian V., Lal R., Lakritz J., Ezeji T., 2011. Measurement and prediction of enteric methane emission. *Int. J. Biometeorology*, 55, 1-16.
- Tammenga S., 2003. Pollution due to nutrient losses and its control in European animal production. *Livest. Prod. Sci.*, 84, 101-111.
- Thomas C., 2004. Feed into Milk: a new applied feeding system for dairy cows. Nottingham University Press, Nottingham, UK.
- Tsao R., 2010. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients*, 2, 1231-1246.
- Urbach G., 1990. Effect of feed on flavor in dairy foods. *J. Dairy Sci.*, 73, 3639-3650.
- Van Amburgh M.E., Collao-Saenz E.A., Higgs R.J., Ross D.A., Recktenwald E.B., Raffrenato E., Chase L.E., Overton T.R., Mills J.K., Foskolos A., 2015. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: updates to the model and evaluation of version 6.5. *J. Dairy Sci.*, 98, 6361-6380.
- Volden H., 2010. The potential of using the NorFor model to evaluate dietary strategies to reduce methane production and nitrogen excretion in cattle. *Proc. 1st Nordic Feed Sci. Conf.* 65-70.
- Waghorn G., 2008. Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production—Progress and challenges. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 147, 116-139.
- Waldrip H.M., Todd R.W., Cole N.A., 2013. Prediction of nitrogen excretion by beef cattle: a meta-analysis. *J. Anim. Sci.*, 91, 4290-4302.
- Wang Y., Majak W., McAllister T.A., 2012. Frothy bloat in ruminants: Cause, occurrence, and mitigation strategies. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 172, 103-114.
- Wilfart A., Espagnol S., Dauguet S., Tailleur A., Gac A., Garcia-Launay F., 2016. ECOALIM: a dataset of environmental impacts of feed ingredients used in French animal production. *Plos One*, 11, e0167343.

Résumé

L'alimentation des ruminants doit aujourd'hui être raisonnée pour maîtriser la santé des animaux, les impacts sur l'environnement et la qualité des produits animaux. Les systèmes d'alimentation ont commencé à évoluer pour intégrer ces nouvelles réponses. Nous présentons dans cet article les considérations nécessaires pour développer une évaluation multicritère des rations à l'échelle de l'animal. Au total, 24 critères classés en 10 dimensions dans les quatre catégories de réponses (production animale, santé, rejets dans l'environnement et qualité des produits) et adaptés aux ruminants laitiers sont proposés. Les indicateurs à mesurer à l'échelle des aliments pour évaluer ces critères ont été identifiés et des pistes de travaux à mettre en place pour développer certains de ces indicateurs sont proposées. Finalement, les perspectives de travail pour la suite du développement de cette évaluation multicritère sont discutées. Cette évaluation multicritère constitue une première étape vers un outil d'optimisation multiobjectif des rations des ruminants.

Abstract

Application of multi-criteria evaluation methods to ruminant diets: identification of criteria to be evaluated and indicators to be measured on feeds

Modern ruminant production systems have to meet the sustainability challenge. Achieving this aim will require changes in all part of the production systems, including feeding. Today, diet formulation for ruminants has to supply a diet balanced in all nutrients and free from harmful substances, to meet production objectives and thereby generate, using ecological practices, animal products that are safe for humans. This requirement implies extending the ruminant diet evaluation concept to cover new dimensions other than feed value, such as impact on animal health, emitted wastes and the quality of ruminant products. Here, we present the concepts of a multi-criteria evaluation of ruminant diets, and the method we used to define the criteria and their indicators. Twenty-four criteria adapted to dairy ruminants and ranked in four categories of impact (animal production and health, wastes emitted and quality of the animal products) are proposed. Then, we discussed the type of indicators required to assess these criteria and identified the works to be carried out on indicators development. Finally, we discuss the steps remaining for the construction of the multi-objective diet evaluation tool.

MAXIN G., NOZIÈRE P., SAUVANT D., BAUMONT R., 2018. Appliquer les méthodes d'évaluation multicritère aux rations des ruminants : identification des critères à évaluer et des indicateurs à mesurer sur les aliments. In : *Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage*. Baumont R. (Ed). Dossier, *INRA Prod. Anim.*, 31, 255-268.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.2.2328>