

Prédiction des flux d'eau consommée et excrétée par les vaches laitières en conditions de thermoneutralité

Hajer Khelil Khelil-Arfa, Anne Boudon, Gaëlle Maxin, Philippe Faverdin

▶ **To cite this version:**

Hajer Khelil Khelil-Arfa, Anne Boudon, Gaëlle Maxin, Philippe Faverdin. Prédiction des flux d'eau consommée et excrétée par les vaches laitières en conditions de thermoneutralité. 18. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants, Dec 2011, Paris, France. hal-02749947

HAL Id: hal-02749947
https://hal.inrae.fr/hal-02749947

Submitted on 3 Jun 2020

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

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

Prédiction des flux d'eau consommée et excrétée par les vaches laitières en conditions de thermoneutralité

KHELIL- ARFA H. (1), BOUDON A. (1), MAXIN G. (2), FAVERDIN P. (1)
(1) INRA Agrocampus Ouest UMR1080 Production du Lait, 35590 Saint-Gilles, France
(2) Agriculture and Agri-Food Canada Sherbrooke QC J1M 1Z3

RESUME – L'accroissement de la demande mondiale des produits laitiers associé au réchauffement climatique pourrait accentuer la nécessité d'une meilleure efficience de l'usage de l'eau dans les systèmes laitiers. Le travail présenté ici a pour objectif de développer des équations de prédiction des principaux flux d'eau à l'échelle d'une vache laitière, à partir de paramètres liés à sa production et son alimentation, dans des conditions de thermoneutralité. Pour cela, un jeu de données comprenant 342 mesures individuelles de bilans eau chez des vaches laitières réalisées à la ferme expérimentale de Méjussaume (INRA, la France) a été rassemblé. Les équations de prédiction des quantités d'eau bue (EB), d'eau totale ingérée (ETI), d'eau urinaire (EU) et d'eau fécale (EF) ont été développées par régression multiple avec une méthode de sélection pas à pas des régresseurs. Le jeu de données s'est distingué par une très forte variabilité de la teneur en matière sèche (MS) des rations utilisées (de 11,5 a 91,4%). Si la matière sèche ingérée (MSI) a été le premier paramètre prédictif de l'ETI avec un R^2 partiel de 0,51, la MS de la ration a été le premier paramètre prédictif de l'EB avec un R^2 partiel de 0,57, ce qui a confirmé une compensation entre l'eau bue et l'eau ingérée avec l'aliment quand la MS change. La variabilité du volume urinaire a été expliquée par la teneur en matière azotée de la ration provenant du fourrage (qtMATf) associée à la MSI et celle de l'eau fécale a été expliquée par le pourcentage de concentré dans la ration (CONC) et la MSI.

Prediction of water intake and excretion flows in dairy cows under thermoneutral conditions

H.KHELIL-ARFA (1), A. BOUDON (1), G. MAXIN (2), P. FAVERDIN (1)
(1) INRA Agrocampus Ouest UMR1080 Production du Lait, 35590 Saint-Gilles, France
(2) Agriculture and Agri-Food Canada Sherbrooke QC J1M 1Z3

SUMMARY - The increase in worldwide demand for dairy products associated with global warming emphasizes the need for a higher efficiency of water use in dairy systems. In this study, equations were developed to predict the main water flows at the dairy cow level, based on parameters related to cow productive performance and diet under thermoneutral conditions. A dataset including 342 individual measurements of water balance in dairy cows at the experimental farm of Méjussaume (INRA, France) was built. Predictive equations of water intake, urine and fecal water excretions were developed by multiple regression using a stepwise selective of candidate regressors. While dry matter intake (DMI) was the first predictor of total water intake with a partial R^2 of 0. 51, diet dry matter content (DM) was the first predictive parameter of fresh water intake with a partial R^2 of 0. 57, likely due to the large variability of DM in the first dataset (from 11, 5 to 91, 4%). This confirmed the compensation between water drunk and ingested with the diet when DM changes. The variability of urine volume was explained mainly by the amount of crude protein ingested with forage (qtCPf) associated with DMI and that of fecal water was explained by the percentage of concentrate in diet and DMI.

INTRODUCTION

Du fait de l'augmentation de la demande mondiale pour les produits d'origine animale et du réchauffement climatique, l'efficacité d'utilisation des ressources en eau devient un enjeu pour l'élevage. Même si à l'échelle mondiale, plus de 90% de l'eau consommée par l'élevage provient de l'irrigation des cultures fourragères (FAO, 2006), cette proportion peut s'inverser dans les zones tempérées où l'irrigation est moins pratiquée. Dans ce cas, une meilleure prédiction des besoins en eau des animaux et notamment des vaches laitières peut permettre (1) de mieux budgétiser les coûts d'abreuvement qui pourraient être significatifs notamment lorsque l'eau provient du réseau public d'eau potable, (2) d'augmenter l'efficacité d'utilisation de l'eau en permettant une meilleure détection des fuites au niveau du réseau enterré qui peut être très important pour permettre le pâturage, (3) d'estimer les besoins incompressibles d'eau de l'élevage, notamment pendant les périodes de sécheresse où des compétitions peuvent apparaître entre les postes d'utilisation de l'eau. De plus l'eau est le constituant majoritaire des effluents d'élevage et une meilleure prédiction des volumes d'eau excrétée peut contribuer à mieux prédire les volumes d'effluents à stocker ou les concentrations en minéraux des effluents qui peuvent modifier certains processus comme la volatilisation de l'ammoniac ou du protoxyde d'azote. Le principal objectif de ce travail est d'établir un jeu d'équations de prédiction des principaux flux d'eau à l'échelle d'une vache laitière (eau bue, eau ingérée totale, eau urinaire et eau fécale) à partir de paramètres liés à la ration et aux performances des vaches dans des conditions de thermoneutralité.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1 JEU DE DONNEES UTILISE POUR LA CONSTRUCTION DES EQUATIONS

Les équations empiriques de prédiction des flux d'eau ont été construites par régression multiple à partir d'un jeu de données collecté à la ferme expérimentale de Méjussaume (INRA Le Rheu - St-Gilles, France). Ce jeu comprenait 342 mesures individuelles des flux d'eau sur vaches laitières (eau bue, ingérée avec l'aliment, excrétée dans les urines, et les fèces et sécrétée dans le lait). Ces mesures avaient été réalisées au cours de 18 essais menés entre 1983 et 2005 durant lesquels des bilans individuels énergétiques ou azotés avaient été mesurés. Ces essais avaient pour objectifs principaux de quantifier l'ingestion ou la digestibilité de rations sous l'effet de variation de la proportion ou du type de concentré énergétique ou azoté, du niveau de fertilisation, du stade d'exploitation ou de l'espèce fourragère des fourrages verts, de la taille des particules du fourrage (ensilage de maïs ou foin), de la fréquence d'alimentation. La plupart de ces essais ayant été publiés, les références sont disponibles auprès des auteurs. Toutes les vaches étaient alimentées *ad libitum.* Chaque mesure individuelle du jeu de données correspondait à la moyenne de cinq jours consécutifs de mesure et différait des autres soit par le traitement appliqué, soit par l'individu sur lequel la mesure était réalisée. Sur l'ensemble du jeu de données, 281 mesures

ont été obtenues sur vaches laitières (moyenne 175 jours de lactation) et 61 sur vaches taries. Toutes les vaches étaient de race Holstein. Toutes les mesures de bilan ont été effectuées dans les mêmes bâtiments avec des méthodes similaires. Les vaches étaient logées dans des stalles entravées au sein de salles ventilées et climatisées à une température comprise entre 15 et 20°C, avec u n libre accès à l'eau et à une pierre à lécher. Aucun essai n'a été réalisé en juillet et août. Les quantités d'eau bue ont été mesurées quotidiennement par relevés manuels de compteurs individuels au moment de la collecte de l'urine et des fèces. Les vaches étaient traites 2 fois par jour.

1.2. NATURE DES VARIABLES EXPLICATIVES CANDIDATES

Les flux d'eau pour lesquels des équations de prédiction ont été établies étaient l'eau bue (EB), l'eau totale ingérée (ETI), l'eau urinaire (EU) et l'eau fécale (EF). Les variables explicatives candidates retenues ont été : la matière sèche ingérée (MSI, kg/j), la production laitière (PL, kg/j), le poids vif (PV, kg), la teneur en matière sèche de la ration (MS, g/100g), la proportion de concentré dans la ration (CONC, g/100g MS), la teneur en matière azotée de la ration provenant du concentré (qtMATc, g/kg MS Ration) ou du fourrage (qtMATf, g/kg MS Ration) et leur carré respectif $qtMATc^2$ et $qtMATf^2$. qtMATc et qtMATf ont été calculées comme le produit de la teneur en MAT du concentré ou du fourrage et la proportion du concentré ou du fourrage dans la ration. Les statistiques descriptives de chacune de ces variables sont données dans le Tableau 1. Ces variables ont été retenues après analyse de leurs corrélations aux flux d'eau étudiés au sein de notre jeu de données et après observation graphique des relations. Du fait du libre accès des vaches aux pierres à sel durant les mesures, les quantités de minéraux ingérées et notamment de sodium et de potassium n'étaient pas connues.

1.3. STATISTIQUES

Les équations de prédiction des flux d'eau ont été construites par régression multiple avec une sélection pas à pas des régresseurs à inclure grâce à la procédure REG et à l'instruction STEPWISE de SAS (version 8,1 ; SAS Institute, Inc, Cary NC). Les consignes d'entrée (SLENTRY) et de maintien (SLSTAY) des variables dans la régression étaient fixées pour un niveau de significativité du régresseur inférieur à 0,01. Les équations ont été établies à partir de deux jeux de régresseurs candidats, un premier incluant toutes les variables explicatives décrites ci-dessus et un second excluant la MSI. L'objectif était de proposer des équations utilisables dans des conditions de rations complètes bien décrites mais d'ingestion inconnue.Une validation interne de nos équations a également consisté à calculer les écarts d'erreur moyenne de prédiction (EMP) des équations sur deux sous populations de notre jeu de données : les vaches en lactation et les vaches taries. L'EMP a été calculée comme la racine de la moyenne des carrés des erreurs (MCE) :

$$MCE = 1/n \sum(Obs-Pred)^2 \quad [1]$$

Avec n= nombre de paires de valeurs observée (obs) et prédite (Pred). L'EMP relative a été calculée comme le rapport de l'EMP sur la valeur moyenne observée du flux.

2. RESULTATS

2.1. EQUATIONS DE PREDICTION

Les résultats de la régression multiple avec sélection pas à pas des régresseurs pour la prédiction des flux d'eau bue, d'eau totale ingérée, d'eau urinaire, de MS fécale excrétée et de la teneur en MS des fèces sont donnés dans les équations [2], [4], [6], [9], [11] respectivement lorsque la MSI était incluse dans les régresseurs candidats et dans les équations [3], [5], [7], [10], [12] lorsqu'elle était exclue.

Pour les prédictions d'eau bue, la teneur en MS de la ration a toujours expliqué la majorité de la variabilité du flux d'EB avec un R^2 partiel de 0,57, suivie par la MSI (R^2 partiel = 0,27) dans l'équation [2] et la PL (R^2 partiel = 0,24) dans l'équation [3].

$$EB = 0,83\ (\pm0,03) \times MS + 3,22\ (\pm0,23) \times MSI + 0,92\ (\pm0,07) \times PL - 0,28\ (\pm0,027) \times CONC + 0,037(\pm0,0078) \times PV - 77,6\ (\pm6,1)\ (n= 232,\ R^{adj}=0,92,\ ETR=9,4\ kg/j) \quad [2]$$

$$EB = 0,97\ (\pm0,032) \times MS + 1,54\ (\pm0,072) \times PL - 0,29\ (\pm0,037) \times CONC + 0,039\ (\pm0,01) \times PV - 41,1\ (\pm7,3)\ (n= 232,\ R^{adj}=0,86,\ ETR=12,4\ kg/j) \quad [3]$$

La MSI a expliqué la majorité de la variabilité de l'ETI (équation [4]) avec un R^2 partiel de 0,51 suivie par la $qtMATf^2$ (R^2 partiel = 0,26). Quand la MSI était exclue des régresseurs candidats (équation [5]), c'est la PL qui a expliqué la plus grande part de variabilité de l'ETI (R^2 partiel = 0,58) suivie par la qtMATf (R^2 partiel = 0,19). L'ETR relatif (rapportée à la moyenne du flux observé) de l'ETI a toujours été inférieur à celui de l'eau bue avec des valeurs de 0,10 et 0,13 pour les équations [2] et [4] respectivement et 0,11 et 0,17 pour les équations [3] et [5].

$$ETI= 3,89\ (\pm0,21) \times MSI + 9,40.10^{-4}(\pm7,5.10^{-5}) \times qtMATf^2 + 0,81\ (\pm0,065) \times PL - 0,08\ (\pm0,018) \times qtMATc - 0,94\ (\pm3,84)\ (n=232,\ R^{adj}=0,87,\ ETR =8,89\ kg/j) \quad [4]$$

$$ETI= 1,55\ (\pm0,054) \times PL + 0,16\ (\pm0,03) \times MS + 1,61.10^{-3}\ (\pm2,\ 57.10^{-4}) \times qtMATf^2 - 1,23.10^{-3}\ (\pm2,18.10^{-4}) \times qtMATc^2 - 0,20\ (\pm0,065) \times qtMATf + 57,4\ (\pm4,66)\ (n=232,\ R^{adj}=0,82,\ ETR =9,74\ kg/j) \quad [5]$$

La variabilité du flux d'eau urinaire a été expliquée essentiellement par $qtMATf^2$ (R^2 partiel = 0,58) dans l'équation [6] (avec MSI). Les R^2 partiels des autres régresseurs des équations [6] et [7] ont toujours été inférieurs à 0,10.

Tableau 1 Statistiques descriptives des flux d'eau et des variables explicatives candidates dans le jeu de données utilisé pour la construction des équations de prédictions.

						Coefficients de corrélation	
Variables	n	Moyenne	ET	Min	Max	Eau Bue	Eau Fécale	Eau Urinaire
MSI, kg/j	342	17,75	4,11	4,68	27,45	0,75***	0,89***	-0,33***
PL, kg/j	281	24,92	8,36	5,52	42,18	0,55***	0,57***	-0,21***
PV, kg	342	630,25	86,66	430	907	-0,05 ns	0,21***	-0,32***
MS, %	342	61,37	29,09	11,5	91,4	0,75***	0,25***	-0,37***
CONC, %	342	31,74	25,75	0	96	0,20**	0,007 ns	-0,43***
qtMATc, g/kg MSr	342	58,44	44,67	0	138	0,22***	0,08**	-0,48***
qtMATf , g/kg MSr	342	94,01	63,24	3	295	-0,27***	0,09 ns	0,76***
Eau bue, kg/j	232	72,61	33,36	2,3	140,0	-	0,70***	-0,09 ns
Eau ingérée, kg/j	232	89,61	24,47	22,24	147,2	0,58***	0,72***	0,60***
Eau urinaire, kg/j	227	23,96	10,74	8,17	59,03	-	0,03 ns	-
Eau fécale, kg/j	261	33,27	12,28	9,04	69,61	-	-	-
MS fèces, %	261	13,88	1,97	7,78	19,14	-0,21***	-0,50***	-0,42***

*** P<0,001, ** P<0,01, ns: non significative P>0,05

$EU = -2{,}2.10^{-4}\ (\pm 8{,}4.10^{-5}) \times qtMATf^2 + 0{,}88\ (\pm 0{,}11) \times MSI + 0{,}263\ (\pm 0{,}026) \times qtMATf + 9{,}30.10^{-4}\ (\pm 10{,}5.10^{-5}) \times qtMATc^2 - 19{,}8\ (\pm 3{,}2)$ $(n=227, R^{adj}=0{,}75, ETR=5{,}3\ kg/j)$ [6]

$EU = 0{,}28\ (\pm 0{,}045) \times PL + 0{,}024\ (\pm 0{,}0053) \times PV + 0{,}191\ (\pm 0{,}009) \times qtMATf + 6{,}50.10^{-4}\ (\pm 8{,}25.10^{-5}) \times qtMATc^2 - 20{,}6\ (\pm 4{,}3)$ $(n=227, R^{adj}=0{,}73, ETR=5{,}5\ kg/j)$ [7]

Pour éviter la prédiction de valeurs négatives, le flux d'eau fécale a été prédit à partir du flux de MS fécale excrétée (MSexcr) et de la teneur en MS des fèces (MSf%) :

$EF = MSexcr \times [(100 - MSf) / MSf]$ [8]

Lorsque la MSI a été incluse dans les régresseurs candidats, la MSI a expliqué la majorité de la variabilité du flux de MS fécale excrétée (R^2 partiel = 0,89, équation [9]), et lorsqu'elle a été exclue (équation [10]), la PL a expliqué 30% de la variabilité. La proportion de concentré dans la ration explique la plus grande part de variabilité de MSf% dans les équations [11] et [12] (R^2 partiel = 0.32).

$MSexcr = 0{,}43\ (\pm 0{,}009) \times MSI - 1{,}98.10^{-5}\ (\pm 3{,}09.10^{-6}) \times qtMATf^2 - 2{,}30\ (\pm 0{,}17)$
$(n=261, R^{adj}= 0{,}91, ETR=0{,}49\ kg\ MS)$ [9]

$MSexcr = 0{,}073\ (\pm 0{,}0062) \times PL + 0.019\ (\pm 0{,}003) \times MS - 0{,}0054\ (\pm 0{,}002) \times qtMATf + 2{,}9\ (\pm 0{,}34)$
$(n=261, R^{adj}= 0{,}52, ETR=1{,}17\ kg\ MS)$ [10]

$MSf\ \% = 0{,}041\ (\pm 0{,}004) \times CONC - 0{,}031\ (\pm 0{,}009) \times PL - 0{,}14\ (\pm 0{,}031) \times MSI - 4{,}50.10^{-5}\ (\pm 1{,}03.10^{-5}) \times qtMAf^2 + 16{,}28\ (\pm 0{,}53)$ $(n=261, R^{adj}= 0{,}54, ETR=1{,}34\%)$ [11]

$MSf\ \% = 0{,}068\ (\pm 0{,}008) \times CONC - 0{,}057\ (\pm 0{,}007) \times PL - 1{,}79.10^{-4}\ (\pm 3{,}8.10^{-5}) \times qtMAf^2 - 0{,}018\ (\pm 0{,}004) \times MS + 0{,}034\ (\pm 0{,}009) \times qtMAf + 12{,}82\ (\pm 0{,}69)$
$(n=261, R^{adj}= 0{,}51, ETR=1{,}37\%)$ [12]

2.2. VALIDATION INTERNE SUR LES SOUS-POPULATIONS EN LACTATION OU TARIES

Les erreurs moyennes de prédiction relatives ont toujours été plus élevées sur les vaches taries que sur les vaches en lactation (Tableaux 2 et 3). L'écart d'EMP relative a été particulièrement marqué pour les prédictions d'eau urinaire, que la MSI soit incluse ou non dans les régresseurs candidats, et pour les prédictions d'eau totale ingérée et d'eau fécale, lorsque la MSI était exclue des régresseurs.

Tableau 2 Validation interne des équations sur les populations en lactation et taries (MSI incluse dans les régresseurs candidats)

	Vaches en lactation			Vaches taries		
Flux d'eau, kg/j	n	EMP	EMP relative	n	EMP	EMP relative
EB éq [2]	179	8,61	0,112	53	11,27	0,197
ETI éq [4]	179	8,34	0,085	53	10,39	0,170
EU éq [6]	211	5,07	0,210	16	8,46	0,382
EF éq [9], [11]	208	4,63	0,130	53	4,42	0,181

Tableau 3 Validation interne des équations sur les populations en lactation et taries (MSI exclue des régresseurs candidats)

	Vaches en lactation			Vaches taries		
Flux d'eau, kg/j	n	EMP	EMP relative	n	EMP	EMP relative
EB éq [3]	179	12,16	0,158	53	13,2	0,231
ETI éq [5]	179	15,90	0,162	53	34,7	0,566
EU éq [7]	211	5,19	0,215	16	9,1	0,411
EF éq [10], [12]	208	8,28	0,233	53	10,1	0,413

3. DISCUSSION

3.1. LA TENEUR EN MS DE LA RATION : LE PREMIER DETERMINANT DES BESOINS EN EAU DES VACHES LAITIERES

Nous avons recensé dans la littérature 9 publications proposant des équations de prédiction de l'eau bue chez la vache laitière (Cardot *et al*., 2008 ; Castle et Thomas, 1970 ; Dahlborn *et al*., 1998 ; Holter et Urban, 1992 ; Little et Shaw ,1978 ; Meyer *et al*., 2004 ; Murphy *et al*., 1983 ; Paquay *et al*., 1970; Stockdale et King, 1983). L'originalité des équations proposées ici est qu'elles reposent sur un jeu de données dont la variabilité des volumes d'eau bue est la plus importante (de 2,3 à 140,0 l/j), en relation vraisemblablement avec la grande diversité des rations offertes aux vaches allant de rations basées exclusivement sur des fourrages verts à des rations sèches. A titre d'exemple, l'écart type de la teneur en MS dans notre jeu de données était de 29,1 contre 7,2 dans le jeu de données utilisé par Holter et Urban (1992), 9,5 chez Meyer *et al* (2004) ou 5,0 chez Cardot *et al* (2008).

Dans nos équations, la teneur en MS de la ration a été le régresseur qui explique de loin la plus grande part de variabilité des besoins en eau d'abreuvement des vaches laitières. Par conséquent, la ration d'un animal ou d'un troupeau est le premier facteur à connaître pour estimer les besoins en eau d'abreuvement ; ceci montre aussi qu'il existe vraisemblablement une grande variabilité des besoins en eau des troupeaux au cours de l'année, selon le type d'alimentation, ce qui est assez spécifique aux élevages de vaches laitières et au-delà de ruminants.

A contrario, les besoins en eau totale ingérée par les vaches laitières sont d'abord déterminés par la MSI, ce qui est cohérent avec l'idée que le taux de renouvellement de l'eau dans l'organisme est corrélé à la consommation d'énergie et d'oxygène et que l'acte d'ingestion lui-même produit des stimuli de soif (Langhans *et al*., 1995). En fait, la teneur en MS est le premier régresseur de l'eau bue mais pas de l'eau totale ingérée parce que les vaches compensent la plus faible ingestion d'eau avec l'aliment, quand la teneur en MS de ce dernier augmente, par une augmentation du volume d'eau bue afin de maintenir une quantité totale d'eau ingérée en relation avec leur métabolisme. Il a parfois été observé que la teneur en MS de la ration pouvait avoir un léger effet négatif sur l'ETI (Paquay *et al*., 1970). Ceci s'explique surtout par le fait que les aliments à faible teneur en MS sont ceux à fortes teneurs en N et K, ce qui peut induire une augmentation des excrétions urinaire et fécale d'eau. Dans nos équations de prédiction de l'ETI, la variable MS ration n'a pas été retenue vraisemblablement parce que l'effet des rations à faible teneur en MS a été partiellement pris en compte par l'effet quadratique de qtMATf. qtMATf est vraisemblablement assez corrélé à la quantité de K ingéré avec le fourrage du fait d'une relation entre les teneurs en N et en K des aliments (De Boer *et al*., 2002).

3.2. PREDIRE LE VOLUME D'EAU URINAIRE AVEC LES QUANTITES DE MAT INGEREE AVEC LE FOURRAGE ET LE CONCENTRE

Dans nos équations, qtMATf et qtMATc, expliquent la majorité de la variabilité de l'EU. Du fait de leur association à la MSI ou la PL dans nos équations, il est cohérent que ces variables constituent des indicateurs de l'excès d'azote ingéré par rapport à son utilisation métabolique et donc de la concentration en urée plasmatique. Il a clairement été montré que les concentrations en urée du sang, du lait ou de l'urine sont fortement inter corrélées (Kauffman et St Pierre, 2001). Ceci est à mettre en relation avec l'idée que les vaches ont une faible capacité à concentrer l'urine, donc que l'augmentation des quantités d'urée à excréter avec des régimes riches en azote conduit à une augmentation du volume urinaire (Maltz et Silanikove,

1996). De cette façon, Nennich *et al* (2006) ont également pu prédire le volume d'eau urinaire à partir de l'urée azotée du lait uniquement avec un ETR de 5,8 kg/j, n=372.
Il est possible que la précision de nos équations de prédiction de l'eau urinaire aurait pu être améliorée par l'inclusion des teneurs en Na et K dans les variables explicatives candidates. Chez les vaches laitières, l'ingestion de grandes quantités d'électrolytes a aussi pour conséquence d'augmenter le volume urinaire sans que l'urine ne puisse être réellement concentrée. Le Na et le K contribuent ainsi au même titre que l'urée, à la pression osmotique de l'urine. Maltz et Silanikove (1996) ont rapporté que l'augmentation de la teneur en urée de l'urine permet une baisse de la concentration en électrolytes dans l'urine sans aucun changement de la pression osmotique urinaire et Bannink *et al* (1999) ont proposé une équation de prédiction de l'eau urinaire seulement à partir de Na et K ingérés avec un ETR de 4,22 kg/j, n=67. Cependant, les teneurs en Na et K de l'ingéré restent difficiles à quantifier en pratique lorsque les animaux ont accès à des pierres à sel. Comme nous l'avons vu précédemment, il est probable que l'inclusion de la variable qtMATf permette de prendre en compte partiellement la quantité de K ingéré avec le fourrage. Par contre, on peut imaginer que la variable qtMATc, qui apparaît seulement dans les équations de prédiction de EU et ETI, intègre une proportion non négligeable d'urée alimentaire.

3.3. PREDICTION D'EAU FECALE

Comme attendu, la MSI a été le paramètre expliquant la plus grande part de la variabilité de la MS excrétée, ce qui est cohérent avec le fait que la variabilité de la MSI est plus importante que celle de la digestibilité de la MS dans notre jeu de données. Là encore, qtMATf est apparue comme un paramètre explicatif de la teneur en MS fécale, vraisemblablement parce que ce paramètre prend en compte les différences de teneur en eau et en électrolytes entre les fourrages conservés et verts. Si avec l'herbe verte, une grande partie des électrolytes est excrétée dans l'urine par les reins, une proportion importante de K peut aussi être excrétée dans les fèces (De Boer *et al*., 2002).

3.4. UTILISATION DES EQUATIONS SI LA MSI N'EST PAS CONNUE OU POUR DES VACHES TARIES

Pour chaque flux d'eau décrit, nous avons cherché à établir une équation dont l'utilisation ne nécessitait pas de connaître la MSI des vaches. Ces équations ont pour vocation d'être utilisées dans le cas de rations complètes dont on connaît notamment la proportion de concentré et les proportions de MAT présentes dans le fourrage et dans le concentré. L'utilisation de ces équations conduit à une baisse de précision des prédictions, qui reste cependant limitée pour l'eau bue, l'eau totale ingérée ou l'eau urinaire. Par contre, dans le cas de distributions séparées de fourrages ou de concentrés ou si les vaches sont complémentées au pâturage, il est recommandé d'avoir recours à un modèle de prédiction des quantités ingérées tel que le système des unités d'encombrement (UE, INRA, 2007) pour utiliser les équations nécessitant la MSI comme variable explicative avec le risque cependant d'une forte baisse de précision. A titre d'exemple, l'utilisation de la MSI estimée par le modèle des UE pour prédire l'eau bue avec l'équations [2] conduit à une erreur moyenne de prédiction de 26,8 kg/j.
Etant donné le nombre limité de mesures réalisées sur vaches taries dans notre jeu de données, il a été décidé d'établir une équation commune pour les vaches en lactation et les vaches taries. Si les erreurs moyennes de prédiction relatives ont toujours été plus élevées pour les vaches taries par rapport aux vaches en lactation, les écarts restent limités dans le cas où la MSI est incluse comme variable explicative. Par contre, les prédictions sur vaches taries sont très dégradées lorsque les équations sans MSI sont utilisées, sûrement parce que la PL ne peut être utilisée comme indicateur de l'ingestion.

4. CONCLUSION

Ce travail a abouti à un nouveau jeu d'équations de prédictions des besoins en eau et des quantités d'eau excrétées par les vaches laitières selon leur niveau de production et leur ration. Du fait de la grande diversité des rations présentes dans le jeu de données ayant servi à construire les équations, il est apparu que la teneur en MS de la ration est le premier déterminant des quantités d'eau d'abreuvement nécessaires aux vaches laitières. Une équation de prédictions du flux urinaire ne nécessitant pas de connaître la quantité d'électrolytes ingérés par l'animal a aussi été proposée. Une limite à ces équations est qu'elles ne sont applicables que dans des conditions où les vaches n'ont pas à perdre une quantité significative d'eau par évaporation pour réguler leur température interne, soit pour des températures ambiantes inférieures à 25°C. Un enjeu pour la suite est d'intégrer l'impact des conditions climatiques sur les besoins en eau des vaches de façon généralisable d'un site géographique à un autre.

Bannink, A., Valk, H., Van Vuuren, A.M., 1999. J. Dairy Sci., 82, 1008-1018
Cardot, V., Le Roux, Y., Jurjanz, S., 2008. J. Dairy Sci., 91, 2257-2264
Castle, M.E., Thomas, T.P., 1970. Anim. Prod., 20, 181-189
Dahlborn, K., Akerlind, M., Gustafson, G., 1998. Swed J Agr Res., 28, 167-176
De Boer, I.J.M., Smits, M.CJ., Mollenhorst ,H., van Duinkerken, G., Monteny, G.J., 2002. J. Dairy Sci., 85, 3382-3388
FAO 2006. Livestock long shadow. Environmental issues and options. Animal production and health division, FAO.Rome, Italy.
Holter, J.B., Urban, W.E., 1992. J. Dairy Sci., 75, 1472-1479
INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins: besoins des animaux- valeurs des aliments ., Eds Quae. Paris, France.
Kauffman, A.J., St Pierre, N.R., 2001. J. Dairy Sci., 84, 2284-2294
Langhans, W., Rossi, R.E. Scharrer, E., 1995. Relationships between feed and water intake in ruminants. In Ruminant physiology: digestion, metabolism, growth and reproduction. Proceeding of the 8 th International Symposium on Ruminant Physiology. Stuttgart, Germany.
Little, W., Shaw, S.R., 1978. Anim. Prod ., 26, 225-227
Maltz, E., Silanikove, N., 1996. J. Dairy Sci., 79, 1621-1626
Meyer, U., Everinghoff, M., Gdeken, D., Flachowsky, G., 2004. Livest. Prod. Sci., 90, 117-121
Murphy, M.R., Davis, C.L., McCoy, G.C. 1983. J. Dairy Sci., 66, 35-38
Nennich, T.D., Harrison, J.H., Van Wieringen, L.M., St Pierre, N.R., Kincaid, R.L., Wattiaux, M.A., Davidson, D.L., Block, E., 2006. J. Dairy Sci., 89, 353-364
Paquay, R., De Baere, R., Lousse, A., 1970. J. Agr. Sci., 75, 251-255
Stockdale, C.R., King, K.R., 1983. Anim. Prod., 36, 303-306