

Article original

Comparaison de différentes méthodes d'interprétation de la prédiction de l'eau corporelle par la méthode de dilution de l'eau lourde : application chez le chevreau mâle

P. Schmidely¹, J. Robelin² et P. Bas¹

¹ INA-PG, Station de nutrition et d'alimentation, 16, rue Claude-Bernard, 75231 Paris Cedex 05;

² INRA, Station de la production de viande, Theix, 63122 Ceyrat, France

(reçu le 21 août 1988, accepté le 12 juillet 1989)

Résumé — L'espace de diffusion (ED) de l'eau lourde estimé par des modèles à 1 ou 2 compartiments a été utilisé pour prédire l'eau corporelle chez le chevreau mâle. L'eau du corps vide (ECV), l'eau totale récupérée à l'abattage (EPA) et l'eau totale calculée au milieu du jour d'injection (EPR) sont prédites le plus précisément par les modèles à 2 compartiments. Les écarts types résiduels des équations de prédiction de ECV, EPA et EPR à partir de ED calculé selon un modèle à 2 compartiments ouverts sont 939 g, 464 g et 450 g respectivement. La mesure de ED fournit donc une méthode précise pour estimer l'eau et la composition corporelle.

eau corporelle — eau deutériée — modèle — chevreau

Summary — Comparison of different methodologies to predict body water with the deuteriated water dilution technique in male kids. Deuterium oxide dilution space (DS) predicted by a 1 or 2 compartment kinetic model was used to estimate total body water in male kids. Empty body water (EBW), total body water at slaughter (TBW) and total body water calculated in the middle of day of injection (TBWM) were predicted with more accuracy by 2 compartment models. Residual standard deviation for EBW, TBW and TBWM estimated from a 2 open compartment model was 939 g, 464 g and 450 g respectively. Measurement of DS provides an accurate method to determine body water content and body composition.

body water — deuteriated water — model — kids

INTRODUCTION

Pour déterminer la composition corporelle d'un animal, la méthode de référence qui consiste à effectuer l'analyse chimique du

corps entier après broyage est coûteuse et inapplicable à des effectifs importants. Dans la mesure où l'eau corporelle est étroitement liée à la teneur en lipides de l'organisme, diverses méthodes d'esti-

mation ont été développées pour tenter de quantifier cette eau (Robelin, 1982a; Arnold & Trenkle, 1986; Russel & Reed, 1987). Ces auteurs indiquent en particulier que l'utilisation d'un marqueur de l'eau corporelle comme l'eau lourde permet, chez le Ruminant et le Monogastrique, d'estimer la quantité d'eau contenue dans l'organisme avec un coefficient de variation résiduelle compris entre 2 et 4 %. L'un des principaux facteurs limitant cette précision est la variabilité des contenus digestifs dans lesquels l'eau lourde diffuse. Chez le Caprin en croissance, il n'existe pas d'étude, à notre connaissance, sur l'estimation de l'eau corporelle. Le but de ce travail est donc de déterminer chez le Chevreau en croissance, allaité ou sevré, d'une part la précision de l'estimation de l'eau corporelle à partir de l'espace de diffusion de l'eau lourde, et d'autre part la méthode la plus fiable et la plus pratique compte tenu du nombre de prélèvements à effectuer.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Quarante et un chevreaux mâles âgés de 8 jours (poids initial 4,4 kg, $s = 0,4$ kg) ont été répartis en 2 lots : 27 chevreaux ont été alimentés jusqu'à leur abattage à 7 semaines par du lait de remplacement en 2 repas par jour à 8 h et à 17 h, les 14 autres chevreaux ont été sevrés à 7 semaines, alimentés avec du foin de luzerne et du concentré; 8 ont été abattus à l'âge de 14 semaines et 6 à 20 semaines. Environ 48 h après l'injection d'eau deutériée (D_2O , CEA, Saclay, pureté 99,8 %) dans la veine jugulaire à raison de 0,5 g par kg de poids vif environ, les chevreaux ont été pesés (poids à l'abattage PA) à jeun de 12 h, abattus et séparés en 8 fractions : tête + pattes, peau, sang, carcasse, tissus adipeux, tube digestif vide, contenus digestifs et autres organes. Chacune d'elles a été pesée, broyée

et congelée avant détermination de sa matière sèche par lyophilisation (72 h). Cela a permis de reconstituer pour chaque chevreau l'eau mesurée à l'abattage (EPA) :

EPA = eau des contenus digestifs (ECD) + eau du corps vide (ECV).

Etant donné qu'il existe des variations journalières du poids des chevreaux liées aux variations de contenus digestifs, un poids estimé au jour de l'injection (PR) a donc été déterminé par régression linéaire à partir de 6 pesées effectuées en milieu de journée (14 h) durant les 2 dernières semaines avant l'abattage pour les animaux âgés de 7 semaines et durant le dernier mois pour ceux âgés de 14 semaines. A ce poids calculé correspond une eau corporelle EPR conventionnellement définie par :

EPR = EPA + (PR-PA) x (% d'eau des contenus digestifs).

Afin de déterminer les paramètres de la cinétique de diffusion-élimination du traceur dans le sang et le point d'équilibre, des prélèvements sanguins ont été effectués à 2, 4, 6, 8, 24 et 48 h après l'injection sur tous les animaux. En outre, pour préciser les paramètres de la phase de diffusion ainsi que les temps d'équilibre, des prélèvements supplémentaires ont eu lieu sur 16 chevreaux (10 alimentés au lait et 6 sevrés), 15, 30, 60 et 90 min après l'injection. L'extraction de l'eau du sang après injection a été faite par lyophilisation et le dosage de l'eau lourde par spectrophotométrie dans l'infrarouge. Chaque échantillon dosé en double a conduit à un écart type des différences de 16 ppm entre 2 dosages d'un même échantillon. Après injection, l'évolution dans le temps (t) de la concentration $C(t)$ du traceur dans le sang suit une courbe ajustable par un modèle exponentiel à 2 composantes :

$$C(t) = A_1 \exp(-a_1 \times t) + A_2 \exp(-a_2 \times t) \quad (1)$$

La première composante de ce modèle correspond à une phase de diffusion rapide du traceur ($A_1 \exp(-a_1 \times t)$) dans tous les compartiments aqueux corporels et la seconde à son élimination ($A_2 \exp(-a_2 \times t)$) qui débute en fait dès l'injection ($t = 0$). Le temps d'équilibre (Teq) est celui à partir duquel la phénomène d'élimination devient prépondérant car la

concentration en eau lourde est la même dans tous les compartiments corporels. Il a été fixé conventionnellement à l'instant auquel le rapport R entre la 1^{re} et la 2^e composante était égal à 1% (1^{re} méthode). Les temps d'équilibre ainsi déterminés pour chacun des 16 animaux ayant eu des prélèvements durant la phase de diffusion ont été utilisés pour juger de l'opportunité de l'intégration du point 2 h (valeur possible de Teq d'après la littérature et d'après l'examen des cinétiques individuelles), au sein d'un modèle à un compartiment d'ajustement des résultats de la phase d'élimination pour l'ensemble des 41 chevaux à partir de l'équation :

$$\ln(C(t)/A_2) = -a_2 \times t \quad (2)$$

Le calcul de l'espace de diffusion (ED) de l'eau lourde dans l'organisme a été effectué selon 3 méthodes :

1) EDi(kg) est le rapport entre la quantité d'eau lourde injectée Q (mg) et la concentration initiale Ci (Ci = A₂) qui correspondrait à une diffusion instantanée de l'eau lourde dans l'eau corporelle (modèle à un compartiment). Ci est obtenu à partir de la régression :

$$\ln(C(t)) = \ln(C_i) - a_2 \times t \quad (3)$$

2) Russel & Reed (1987) ont montré à partir d'un modèle à 2 compartiments biologiques fermés (c'est-à-dire sans sortie d'eau de l'organisme) que l'approche 1) pouvait être améliorée en déduisant les pertes d'eau avant équilibre qui s'effectuent principalement à partir des organes pour lesquels l'équilibre est atteint plus rapidement (peau, cœur, rein, foie). L'espace de diffusion EDP (kg) corrigé de ces pertes est :

$$EDP = 1\,000 \times (\text{quantité injectée} - \text{quantité perdue avant l'équilibre}) / C_{eq}$$

La quantité perdue avant l'équilibre est considérée comme proportionnelle d'un facteur k à la quantité injectée Q, avec k étant défini comme le rapport de la surface sous la courbe C(t) (entre t=0 et t=Teq) et de la surface sous la courbe C(t) (entre t = 0 et t → ∞) :

$$k = \frac{\int_0^{Teq} C(t) dt}{\int_0^{\infty} C(t) dt}$$

Puisque $C(t) = A_1 \exp(-a_1 \times t) + A_2 \exp(-a_2 \times t)$ on a :

$$Q \times \left(\frac{A_1}{a_1} \exp(-a_1 \times Teq) + \frac{A_2}{a_2} \exp(-a_2 \times Teq) \right) \times 1\,000$$

$$EDP = \frac{\quad}{C_{eq} \times (A_1/a_1 + A_2/a_2)} \quad (4)$$

3) Robelin (1977), puis Arnold *et al.* (1985) ont défini un modèle à 2 compartiments ouverts (de volumes V1 et V2) à partir de la courbe de diffusion C(t) :

$$V1 \text{ (kg)} = 1000 \times Q / (A_1 + A_2) \text{ et}$$

$$V2 \text{ (kg)} = \frac{1\,000 \times Q \times (A_1 a_1 + A_2 a_2 - (A_1/a_1 + A_2/a_2)^{-1})}{(A_1 + A_2) \times (A_1 a_2 + A_2 a_1)}$$

L'espace de diffusion de l'eau lourde EDO est défini par :

$$EDO = V2 + V1 \quad (5)$$

Les approches (4) et (5) ont été appliquées aux 16 chevaux pour lesquels les prélèvements sanguins durant la phase de diffusion ont été effectués; les estimations d'après (3) ont été réalisées sur tous les chevaux pour chaque âge et pour l'ensemble des animaux tous âges confondus. Les différentes équations de prédiction de l'eau corporelle (Y) ont été obtenues par régression linéaire de ECV, EPA et EPR en fonction des différents espaces de diffusion (X) calculés sur 41 (EDi) ou 16 chevaux (EDP ou EDO) selon l'équation $Y = aX$. Les effets de l'âge sur les différents paramètres ont été testés par analyse de variance.

RÉSULTATS

Cinétique du traceur

L'équation moyenne d'évolution de la concentration de l'eau lourde obtenue sur l'ensemble des 16 chevaux ayant eu des prélèvements en période de diffusion dominante est :

$C(t)/A_2 = 0,128\exp(-1,297 \times t) + \exp(-0,0073 \times t)$ ($n=144$, $R^2=0,915$, $S_r=0,03$) avec t en heures et $C(t)$ en mg/kg. Les écarts types des paramètres sont $1,98 \cdot 10^{-2}$, $0,34$ et $3 \cdot 10^{-4}$ pour A_1 , a_1 et a_2 respectivement. L'effet de l'âge n'est significatif pour aucun des paramètres a_1 et a_2 . D'après l'équation, l'eau lourde diffuse rapidement; ainsi, 30 min après l'injection, la concentration $C(t)$ n'est en moyenne supérieure à C_i (A_2) que de 9 % environ. L'équation ci-dessus détermine un temps d'équilibre de 1,98 h quand le rapport R entre la phase de diffusion et d'élimination est fixé à 1 %. Par ailleurs, sur les 16 chevreux, la valeur moyenne de T_{eq} calculée individuellement est 2,05 h ($s = 0,7$). Enfin, pour les 41 chevreux pris individuellement, la valeur observée de la concentration en eau lourde au temps $t = 2$ h se situe systématiquement à l'intérieur de l'intervalle de confiance des régressions (2). Ce fait confirme la valeur obtenue à partir des 16 cinétiques individuelles de dilution et permet de considérer $t=2$ h comme étant T_{eq} .

Après équilibre, la vitesse moyenne du processus d'élimination calculée sur 16 animaux est $0,0073 \text{ h}^{-1}$ (soit environ 0,7 % h^{-1}) avec de fortes variations individuelles (0,2 % à 1,5 % h^{-1}) ce qui correspond à une demi-vie de 95 h environ. Cela représente un flux journalier respectif d'environ 1 800 et 4 500 g d'eau pour un chevreau pesant 15 kg (7 semaines et 40 kg (20 semaines).

Sur 29 chevreux pour lesquels les cinétiques de diffusion étaient complètes (un certain nombre de tubes de sang ayant subi des détériorations lors de la lyophilisation), les contributions $CT(t)$ de chacun des temps de prélèvement à la régression $\ln(C(t)/A_2) = -a_2 \times t$ (avec $t \geq 2$ h) ont été calculées (Tomassone *et al.*, 1983) afin de déterminer pour chaque

individu le poids particulier de chacun de ces points. Les valeurs moyennes de $CT(i)$ exprimées en pour cent sont 22 ($s=21,2$), 8,8 ($s=12,4$), 7,9 ($s=10,9$), 16,8 ($s=20,3$) 20 ($s=16,7$) et 24,5 ($s=20$) pour les temps 2, 4, 6, 8, 24 et 48 h respectivement. Pour préciser les relations entre les contributions des différents points, une analyse en composantes principales (ACP) effectuée avec les variables $CT(i)$ est représentée sur la Figure 1. La première composante principale, qui explique 40 % de la variation, indique que les régressions sont déterminées en fonction de l'équilibre des contributions de 2 groupes de points : 24 et 48 h d'une part (probablement lié au fait qu'ils représentent une mesure isolée par rapport au groupe de points 2, 4, 6, 8 mesurés plus séquentiellement), et les autres points d'autre part. La seconde composante principale (21 % des variations) indique qu'au sein des points 2, 4, 6, 8 il existe une alternative des rôles déterminants des 2 couples de points 2—6 et 4—8 h. Par ailleurs, la distribution des individus dans les 2 axes principaux ne révèle aucune différenciation entre les individus sevrés et ceux alimentés au lait.

Relation eau corporelle — espace de diffusion de l'eau lourde

Le poids mesuré à l'abattage est supérieur d'environ 8 et 18 % au poids vif vide pour les chevreux alimentés au lait et les sevrés respectivement. Le contenu digestif en milieu de journée (PR-PA) représente environ 12 et 25 % du poids vif vide, ce qui correspond à une perte de contenu digestif entre le milieu de journée et l'abattage de 4 et 7 % respectivement. L'eau totale mesurée à l'abattage est supérieure d'environ 11 et 24 % à l'eau du poids vif vide et diminue entre le milieu de

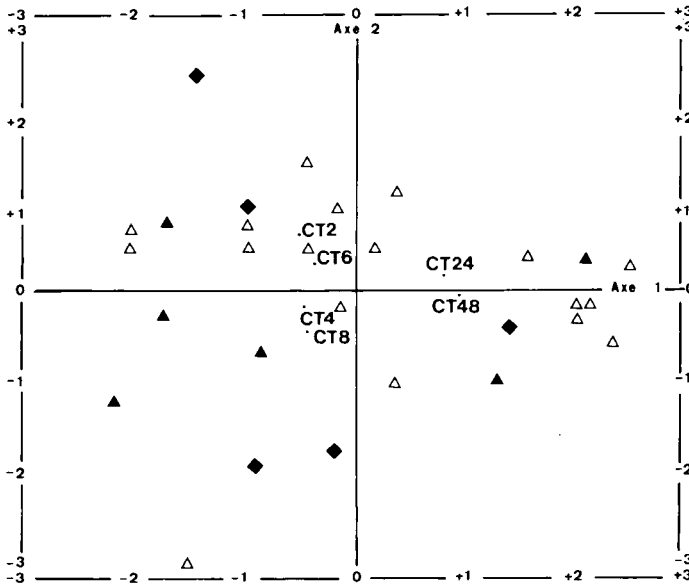


Fig. 1. Représentations des variables (contributions) et des individus dans le plan des axes 1-2 de l'ACP. Δ Animaux au lait (7 semaines); \blacktriangle animaux sevrés (14 semaines); \blacklozenge animaux sevrés (20 semaines).

la journée et l'abattage de 6 et 9 % pour les chevreaux alimentés au lait et sevrés respectivement. Les variations de PR-PA et celles de EPR-EPA ne sont pas reliées aux variations des quantités ingérées ou à celles du gain de poids mesurées entre le jour de l'injection et celui de l'abattage.

L'espace de diffusion EDI n'est pas le meilleur estimateur (Tableau I) de l'eau du corps vide (pente la plus faible et écart type résiduel [Sr] le plus élevé); en revanche, il prédit avec plus de précision l'eau totale récupérée à l'abattage EPA et surtout EPR (Sr pour EPA = 4,3 % et 3,7 % et Sr pour EPR = 3,3 % et 2,2 % pour les chevreaux alimentés au lait et sevrés respectivement). Les différences pour Sr et «a» entre les 2 types de chevreaux n'étant pas significatives, la prédiction de EPA et EPR à partir de EDI est donc :

$$EPA = 0,917 \times EDI [n = 41, R^2 = 0,96, Sr = 537 \text{ g (4,1 \%)}] \text{ et}$$

$$EPR = 0,978 \times EDI [n = 41, R^2 = 0,98, Sr = 459 \text{ g (3,0 \%)}].$$

De façon identique (Tableau I), c'est l'eau du poids calculé par régression qui est prédite avec le plus de précision par un modèle à 2 compartiments ouverts (EDO) ou fermés (EDP) par rapport à l'eau mesurée à l'abattage (EPA) et à celle du corps vide (ECV). Les 3 approches (EDI, EDP et EDO) sont étroitement liées à EPR, mais c'est le modèle à 2 compartiments ouverts qui détermine la plus faible valeur de Sr bien que les différences ne soient pas significatives (Sr = 3,1 %, 3,0 %, et 2,8 % respectivement). Les relations entre les compartiments aqueux déterminés par le modèle (5) (Tableau II) montrent pour 2

Tableau I. Prediction ($Y = aX$, Sr) de l'eau corporelle (Y) à partir de l'espace de diffusion de l'eau lourde (X) calculé selon un modèle à 1 ou 2 compartiments.

	<i>Eau du poids vide</i>		<i>Eau du poids à l'abattage</i>		<i>Eau du poids regressé</i>	
	<i>a</i>	<i>Sr (g)</i>	<i>a</i>	<i>Sr (g)</i>	<i>a</i>	<i>Sr (g)</i>
Chevreaux ayant eu des prélèvements au-delà du temps d'équilibre						
Modèle à un compartiment (EDi)						
Alimentation au lait (n = 27)	0,831	494	0,925	468	0,973	382
Alimentation solide (n = 14)	0,738	695	0,915	672	0,983	594
Ensemble des chevreaux (n = 41)	0,776	873	0,917	537	0,978	459
Chevreaux ayant eu des prélèvements rapprochés						
Modèle à 1 compartiment (EDi) (n = 16)	0,772	944	0,924	485	0,987	470
Modèle à 2 compartiments fermés (EDP) (n = 16)	0,780	940	0,934	481	0,985	465
Modèle à 2 compartiments ouverts (EDO) (n = 16)	0,769	939	0,920	464	0,986	450

Tableau II. Relation entre les différents compartiments aqueux calculés et ceux mesurés à l'abattage.

<i>Age (semaines)</i>	<i>Compartiments théoriques (kg) ¹</i>				<i>Compartiments mesurés à l'abattage (kg)</i>					
	<i>V1</i>	<i>V2</i>	<i>Total</i>	<i>V2/V1</i>	<i>ECV</i>	<i>ECD</i>	<i>EPA</i>	<i>ECD/ECV</i>	<i>EPR</i>	<i>ECDC</i>
20	23 654	4 240	27 894	0,179	21 167	5 052	26 219	0,239	28 263	7 096
20	25 117	3 188	28 305	0,127	20 961	5 360	26 321	0,256	28 430	7 469
14	14 315	3 418	17 733	0,239	12 029	3 396	15 425	0,282	17 202	5 173
14	13 687	1 075	14 762	0,079	11 620	2 340	13 960	0,201	14 550	2 930
7	10 388	2 541	12 929	0,245	10 626	1 218	11 844	0,115	12 795	2 169
7	9 239	2 289	11 528	0,248	8 963	982	9 945	0,110	10 658	1 695

¹ Modèle à 2 compartiments ouverts (voir «Matériel et Méthodes»);² ECDC : eau des contenus digestifs corrigés des variations journalières de poids (ECDC = EPR – ECV).

animaux de chaque âge (sélectionnés pour le faible Sr de leur ajustement de cinétique de diffusion-élimination) que les compartiments V1 et V2 ne correspondent à aucun des compartiments aqueux mesurés à l'abattage, et que le rapport V1/V2 ne peut être relié à aucun rapport calculé de façon équivalente sur les compartiments aqueux.

DISCUSSION

L'utilisation de l'eau deutériée comme prédicteur de l'eau corporelle chez le chevreau allaité ou sevré conduit à des résultats comparables à ceux obtenus sur les autres ruminants. Les temps d'équilibre sont équivalents de ceux observés sur agneaux (Robelin, 1977), sur taurillons (Robelin, 1982a) ou chèvres en lactation (Brown & Taylor, 1986). De la même façon, les valeurs du renouvellement de l'eau sont voisines de celles obtenues par Robelin (1982b) et par Brown & Taylor (1986).

Dans les déterminations des cinétiques individuelles d'élimination de l'eau lourde, les points 24 et 48 h ont des poids importants. Dans le cas d'animaux dont la composition corporelle peut varier très rapidement (au sevrage par exemple), il peut être important de réduire l'intervalle de prélèvement à 24 h afin d'augmenter la précision de l'estimation de l'eau corporelle. Il est alors nécessaire d'introduire un point supplémentaire de prélèvement dont la position par rapport aux autres prélèvements peut être optimisée par stimulation, afin de conserver une précision d'estimation équivalente.

Les variations journalières de l'eau et du poids corporels des chevreaux sont plus élevées en valeur relative que celles mesurées sur taurillon (Robelin, 1982b).

Ces différences peuvent être mises au compte de la plus forte proportion de contenu digestif par rapport au corps vide chez le chevreau que chez le taurillon. Chez l'animal allaité, les variations de poids et d'eau corporels semblent cependant de moindre amplitude.

L'eau totale calculée en milieu de journée est la plus fidèlement prédite par EDi avec une surestimation d'environ 2,2 % (valeur un peu plus faible que celle obtenue par Robelin [1982a] sur bovins), ce qui est logique dans la mesure où EPR semble plus représentatif de l'état hydrique moyen d'un animal sur 48 h. Cette surestimation peut être partiellement attribuée à une incorporation de l'hydrogène dans les lipides et les protéines corporels dont le renouvellement est plus lent, ainsi qu'aux pertes en eau durant la période de diffusion, pertes qui s'effectuent principalement à partir des organes pour lesquels l'équilibre est atteint très rapidement. Par ailleurs, cette surestimation peut être reliée à l'hypothèse faite d'un volume hydrique constant, ce qui n'est pas le cas ici, puisque les animaux sont en croissance (250 g/j en moyenne soit un gain d'eau de 130 à 150 g d'eau par j).

Les modèles à 2 compartiments ouverts (EDO) ou fermés (EDP) fournissent des équations très voisines dont la valeur prédictive est semblable (CVR compris entre 2,8 et 3,2 %). Le fait que EDO soit légèrement plus précis que EDP tient au fait que la vitesse de transfert de l'eau (VT) entre les compartiments étant très supérieure à la vitesse d'élimination (VS) hors de l'organisme, cette dernière est négligée (Russel & Reed, 1987). Dans notre expérience cette hypothèse est pratiquement réalisée ($VS/VT = 0,01$ à $0,03$), mais elle ne tient pas compte des pertes d'eau dans l'urine, la respiration et la transpiration qui sont intégrées dans le modèle à 2 compartiments ouverts.

Diverses études (Arnold *et al.*, 1985; Arnold & Trenkle, 1986) n'ont pu ajuster les compartiments calculés à l'eau du corps vide ou à l'eau totale (corps vide + contenus digestifs). Il semble que ces modèles ne permettent pas de décrire de façon précise la diffusion de l'eau dans les contenus digestifs : ils ne prennent en compte que l'évolution de l'eau corporelle sur des périodes plus ou moins longues auxquelles correspondent des états de réplétion différents du tube digestif. Il semble donc peu possible qu'ils puissent correspondre à la valeur instantanée de ces compartiments, quel que soit le temps auquel ils sont mesurés. Ainsi le modèle le plus précis (EDO) surestime fortement le contenu digestif chez le chevreau allaité et le sous-estime chez le chevreau sevré. Il se pourrait que le compartiment V2 soit en fait une moyenne de l'eau dans ce compartiment sur une période de 24 à 48 h. Cette approche à deux compartiments ouverts a également été utilisée par Byers (1979) : dans le cas de bovins en croissance, le compartiment V1 est assez étroitement relié à l'eau du corps vide, alors que le compartiment V2 est relié à l'eau des contenus digestifs.

En conclusion, bien que les modèles à 2 compartiments puissent prédire l'eau corporelle avec une précision légèrement supérieure au modèle à 1 compartiment, ce dernier est un moyen d'effectuer des mesures répétables à différentes périodes dans la mesure où les protocoles expérimentaux appliqués ne modifient pas sensiblement le contenu digestif et sa teneur en eau. Il fournit surtout une méthode rapide et assez précise d'estimation de la composition corporelle, une

fois l'équilibre déterminé, pour une fiabilité équivalente de celle des modèles à 2 compartiments.

RÉFÉRENCES

- Arnold R.N., Hentges E.J. & Trenkle A. (1985) Evaluation of the use of deuterium oxide dilution techniques for determination of body composition of beef steers. *J. Anim. Sci.* 60, 1188-1200
- Arnold R.N. & Trenkle A. (1986) Equilibration and passage of water in the gastrointestinal tract of cattle in relation to estimating body water by compartmental kinetic models. *J. Anim. Sci.* 63, 1400-1409
- Brown D.L. & Taylor S.J. (1986) Deuterium oxide dilution kinetics to predict body composition in dairy goats. *J. Dairy Sci.* 69, 1151-1155
- Byers F.M. (1979) Measurement of protein and fat accretion in growing beef steer cattle through isotope dilution procedures. *Ohio Beef Cattle Res. Prog. Rep. Ser.* 19-1, 36-47
- Robelin J. (1977) Estimation *in vivo* de la composition corporelle des agneaux à partir de l'espace de diffusion de l'eau lourde. *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.* 17, 95-105
- Robelin J. (1982a) Relation entre l'espace de diffusion de l'eau lourde mesurée *in vivo* et le volume hydrique corporel des bovins en croissance. *Reprod. Nutr. Dév.* 22, 65-73
- Robelin J. (1982b) Measurement of body water in living cattle by dilution technique. *Beret. Statens Husdyrbrugsfors.* 524, 156-166
- Russel R.W. & Reed R.B. (1987) A flow-limited simulation model of isotopic water dilution. *J. Anim. Sci.* 64, 1010-1018
- Tomassone R., Lesquoy E. & Millier C. (1983) *La Régression : Nouveaux Regards sur une Ancienne Méthode Statistique*. Actualités scientifiques et agronomiques de l'INRA, Ed. Masson, Paris