

21ème journée d'étude



1er mars 1995

## Méthodes rapides de prévision de la valeur énergétique nette des aliments pour les chevaux

W. Martin-Rosset, J. Andrieu, M. Vermorel  
 Département élevage et nutrition des animaux  
 Centre I.N.R.A. de Clermont Ferrand - Theix  
 F.63122 Saint Genès-Champanelle

### Résumé

La valeur énergétique nette des aliments, exprimée en unité fourragère cheval dans le système des UFC élaboré par l'I.N.R.A., peut être déterminée rapidement et avec une bonne précision par l'utilisateur à l'aide de tables de la valeur nutritive des aliments ou (et) par les laboratoires à partir d'équations de prévision reliant la valeur UFC et la composition chimique et éventuellement les éléments digestibles majeurs. La valeur UFC des foin peut être prédite avec une incertitude de 0,005 à - 0,011 UFC/kg MS à partir des teneurs en glucides cytoplasmiques (GC) et en matière organique digestible (MOD). La prédiction de la valeur UFC des foin à partir des seuls résultats de l'analyse fourragère (CB et MAT) est médiocre, en particulier pour les mauvais foin (CB > 340 g/kg MS). La valeur UFC des aliments concentrés simples est estimée avec une très faible incertitude (0,017 UFC/kg MS) à partir des teneurs en CB, MAT, GC, ED. L'incertitude est 4 fois plus élevée dans le cas d'une prédiction à partir de l'analyse fourragère seulement (CB et MAT). La valeur UFC de la plupart des aliments composés peut être estimée avec une incertitude inférieure à 0,03 UFC/kg MO à partir des teneurs en CB, MAT et amidon.

Mot-clés : Cheval - Energie - Aliments - Prévision

### Summary

Routine methods for predicting the net energy value of feeds in horses  
 In France, the net energy value of feeds is expressed in Horse Feed Unit (U.F.C.). In the UFC system elaborated by I.N.R.A. the UFC value of feeds can be predicted quickly and accurately from tables (or) and using prediction relationships which relate UFC value to chemical composition and to major digestible components when available. The prediction accuracy of the UFC value of hays from cytoplasmic sugars (GC), digestible organic matter contents (DOM), reaches 0.005 to 0.011 UFC/kg MS. But prediction from only CF and CP contents is very low namely for poor forages (CF > 340 g/kg DM). Accuracy of the prediction of the UFC value of raw materials from CF, CP, DOM or DE is pretty good : 0.017 UFC/kg MS. But the residual standar deviation is 4 times higher if UFC is predicted only from CF and CP contents. The UFC value of most compound feeds can be predicted from CF, CP and starch contents with an error lower than 0.03 UFC per kg OM.

Key words : Equine - Energy - Feeds - Prediction

En 1984 l'I.N.R.A. a proposé d'évaluer en énergie nette et d'exprimer en Unité Fourragère Cheval (U.F.C.) la valeur énergétique des aliments et les apports alimentaires recommandés pour les chevaux, sur la base de concepts nouveaux pour cette espèce.

Dans le système UFC, l'Unité Fourragère Cheval correspond à la valeur énergétique nette<sup>(1)</sup> d'un kg d'un aliment de référence (l'orge standard à 87 % de MS) pour l'entretien du cheval (Vermorel, Jarrige et Martin-Rosset, 1984).

Les concepts scientifiques, les bases, la structure et les modalités d'application du système UFC ont été depuis 1984 largement validés et précisés grâce aux travaux originaux réalisés par l'I.N.R.A. (Cf. synthèses de Vermorel et Martin-Rosset, 1993 ; Martin-Rosset et al., 1994). L'ensemble de ces résultats a permis à l'I.N.R.A. de confirmer et de préciser les conditions d'utilisation du système UFC en 1990 dans le cadre de l'ouvrage «L'ALIMENTATION DES CHEVAUX» (I.N.R.A. 1990) destiné aux utilisateurs.

Dans le système UFC l'utilisateur peut prédire la valeur énergétique nette des aliments en vue de calculer des rations soit à l'aide de tables qui ont été largement décrites dans les ouvrages I.N.R.A. 1984 puis I.N.R.A. 1990, soit à l'aide d'équations de prédiction faisant intervenir des paramètres mesurés ou mesurables en routine par les laboratoires d'analyse.

Jusqu'en 1990, seule la valeur UFC des aliments composés pouvait être directement et rapidement prédite par les laboratoires. Grâce aux travaux réalisés à l'I.N.R.A. depuis 1990, il est possible aujourd'hui de proposer aux utilisateurs des équations de prédiction directe et rapide de la valeur UFC des 3 grandes catégories d'aliments utilisés pour nourrir les chevaux : fourrages conservés, aliments concentrés simples (matières premières) et aliments composés. Le présent article fait le point sur ces méthodes de prédiction.

## **I - PREDICTION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES FOURRAGES CONSERVES**

Les fourrages conservés (ensilages, foins, fourrages déshydratés...) peuvent représenter de 35 à 90% de la ration des chevaux d'élevage ou utilisés pour le sport et les loisirs. Leur valeur énergétique est donc un élément essentiel à connaître pour choisir les aliments, calculer la composition de la ration et les quantités d'aliments nécessaires pour couvrir les besoins des chevaux considérés, selon la méthode de rationnement proposée par I.N.R.A. 1990. L'utilisateur a deux possibilités pour prédire la valeur UFC d'un fourrage.

### **Prédiction à l'aide des Tables I.N.R.A. de la valeur nutritive des aliments (I.N.R.A., 1990)**

La valeur UFC des fourrages et notamment des foins dépend d'abord de l'espèce, du stade de récolte et des conditions de récolte et de conservation. Lorsque ces informations sont connues, la valeur UFC du foin considéré peut être lue immédiatement dans les Tables I.N.R.A. ou estimée, dans ces mêmes Tables, par interpolation entre 2 stades de végétation sans qu'aucune analyse de laboratoire ne soit nécessaire.

Les Tables I.N.R.A. indiquent la valeur UFC de 114 fourrages (fourrages verts, ensilages d'herbe et de maïs, foins, fourrages déshydratés, pailles natives ou traitées).

### **Prédiction à partir de l'analyse de laboratoire (Martin-Rosset et al., 1994)**

La valeur UFC des fourrages varie également avec leur composition chimique (teneurs en cellulose brute : CB, en matières azotées totales : MAT, en glucides cytoplasmiques : GC, en matière organique : MO...) et avec la digestibilité des constituants les plus représentatifs (digestibilité de la matière organique : dMO, digestibilité de l'énergie : dE...). Ces éléments sont soit déterminés classiquement par les laboratoires dans le cadre de l'analyse fourragère (CB, MAT, MO) soit mesurables (GC, dMO, dE) à l'aide de méthodes nouvelles et rapides proposées par l'I.N.R.A. (Andrieu et Martin-Rosset, 1993).

La valeur UFC des fourrages achetés par les centres équestres, les écuries, les cavaliers peut alors être prédite rapidement par les laboratoires d'analyse à l'aide des équations de prédiction établies par l'I.N.R.A. (tableau 1a) à partir de la composition chimique et éventuellement de la digestibilité d'un échantillon représentatif du lot de fourrage fourni au laboratoire.

<sup>(1)</sup> La valeur de 2200 kcal/kg établie en 1984 a été portée à 2250 kcal/kg en 1994

**Tableau 1 - Equations de prévision de la valeur UFC des aliments pour les chevaux à partir de leur composition chimique et de leur teneur en éléments digestibles**

		ETR (±)	R
<b>1 a - FOURRAGES (n = 47)</b>			
N° 1	UFC = 82,52 - 0,1093 CB + 0,0555 MAT	4,3	0,832
N° 2	UFC = 56,83 - 0,0650 CB + 0,0687 MAT + 0,1800 GC	3,1	0,922
N° 3	UFC = - 12,39 + 0,0254 GC + 0,1330 MOD	1,2	0,988
N° 4	UFC = - 5,57 + 0,0562 GC + 0,02589 ED	0,7	0,996
<b>1 b. MATIERES PREMIERES (n = 51)</b>			
N° 5	UFC = 81,5 - 0,0947 CB + 0,0345 MAT + 0,0582 GC	5,9	0,931
N° 6	UFC = 13,1 - 0,0628 CB - 0,0282 MAT + 0,1340 MOD	4,1	0,967
N° 7	UFC = - 73,0 + 0,0572 MO - 0,0722 MAT + 0,03944 ED	3,3	0,979
N° 8	UFC = - 13,4 + 0,0274 CB - 0,0362 MAT + 0,0316 GC + 0,03160 ED	1,7	0,995
<b>1 c - ALIMENTS COMPOSES</b>			
N° 9	UFC <sub>o</sub> = 132,6 - 0,1937 CB <sub>o</sub> - 0,0135 MAT <sub>o</sub>	6,0	0,978
N° 10	UFC <sub>o</sub> = 133,3 - 0,1684 ADF <sub>o</sub> - 0,0096 MAT <sub>o</sub>	6,0	0,979
N° 11	UFC <sub>o</sub> = 117,3 - 0,1605 CB <sub>o</sub> + 0,0051 MAT <sub>o</sub> + 0,0215 AMI <sub>o</sub>	4,3	0,988
N° 12	UFC <sub>o</sub> = 118,1 - 0,1397 ADF <sub>o</sub> + 0,0082 MAT <sub>o</sub> + 0,0214 AMI <sub>o</sub>	4,0	0,989

**abréviations et unités**

	tableaux 1a, 1b	tableau 1c
MM : cendres	g/kg MS	/
CB : cellulose brute	id.	g/kg MO
ADF : ligno-cellulose Van Soest	/	id.
MAT : matières azotées totales	id.	id.
GC : glucides solubles + amidon (concentrés)	id.	id.
AMI : amidon	id.	id.
MOD : matière organique digestible	id.	/
ED : énergie digestible	Kcal/kg MS	/
UFC : unité fourragère cheval	par 100 kg MS	par 100 kg MO
ETR : Ecart Type Résiduel		

### Prédiction à partir de l'analyse de laboratoire (MARTIN-ROSSET et al., 1994)

La valeur UFC des fourrages varie également avec leur composition chimique (teneurs en cellulose brute : CB, en matières azotées totales : MAT, en glucides cytoplasmiques : GC, en matière organique : MO...) et avec la digestibilité des constituants les plus représentatifs (digestibilité de la matière organique : dMO, digestibilité de l'énergie : dE...). Ces éléments sont soit déterminés classiquement par les laboratoires dans le cadre de l'analyse fourragère (CB, MAT, MO) soit mesurables (GC, dMO, dE) à l'aide de méthodes nouvelles et rapides proposées par l'INRA (ANDRIEU et MARTIN-ROSSET, 1993).

La valeur UFC des fourrages achetés par les Centres équestres, les écuries, les cavaliers peut alors être prédite rapidement par les laboratoires d'analyse à l'aide des équations de prédiction établies par l'INRA (tableau 1a) à partir de la composition chimique et éventuellement de la digestibilité d'un échantillon représentatif du lot de fourrage fourni au laboratoire.

Si le laboratoire utilise les meilleurs critères (GC et ED : Energie Digestible) la précision de la prédiction de la valeur UFC des fourrages est bonne puisque l'incertitude n'est que de 0,007 UFC/kg de matière sèche (MS). L'incertitude est de 0,043 UFC/kg MS si le laboratoire dose seulement CB et MAT. La connaissance de la MOD (matière organique digestible) améliore très fortement la précision de la prédiction puisque l'incertitude n'est plus que de 0,012 UFC/kg MS.

- La teneur en MOD de l'aliment [(teneur en MS - teneur en cendres) x dMO] peut être établie par le laboratoire. Les teneurs en MS et cendres sont fournies par l'analyse fourragère. La dMO peut être prédite par la méthode enzymatique pepsine-cellulase à l'aide de l'équation de prédiction indiquée ci-dessous (ANDRIEU et MARTIN-ROSSET, 1993) avec une incertitude de 1,6 point

$$dMO = 20,57 + Di + 0,6683 \text{ DCMO (\%)} \quad R = 0,971 \quad \text{ETR}^{\circ} = 1,59$$

$$Di = + 2,26 \text{ pour les fourrages verts}$$

$$Di = - 2,26 \text{ pour les foins}$$

$$\text{DCMO} = \text{Digestibilité pepsine-cellulase de la matière organique}$$

- La teneur en Energie Digestible (ED) peut être prédite à partir de la teneur en Energie Brute (EB) mesurée à la bombe calorimétrique par les laboratoires d'analyse et de la digestibilité de l'énergie (dE)

$$ED \text{ (kcal/kg MS)} = EB \times dE$$

- la dE est calculée à partir de la dMO mesurée au laboratoire en utilisant l'équation reliant dE et dMO (MARTIN-ROSSET et al., 1994).

$$dE \text{ (\%)} = 0,0340 + \Delta + 0,9477 \text{ dMO} \quad R = 0,997 \quad \text{ETR}^{\circ} = 1,1$$

$$\Delta = + 1,1 \text{ concentrés}$$

$$\Delta = - 1,1 \text{ fourrages}$$

L'incertitude sur la valeur ED est de 100 kcal/kg MS soit 4,9 % pour le foin de pré moyen.

- La teneur en GC peut être estimée par le laboratoire à l'aide des teneurs établies par INRA 1988 (tableau 2).

<sup>o</sup> ETR : Ecart Type Résiduel

Si le laboratoire utilise les meilleurs critères (GC et ED : Energie Digestible) la précision de la prédiction de la valeur UFC des fourrages est bonne puisque l'incertitude n'est que de 0,007 UFC/kg de matière sèche (MS). L'incertitude est de 0,043 UFC/kg MS si le laboratoire dose seulement CB et MAT. La connaissance de la MOD (matière organique digestible) améliore très fortement la précision de la prédiction puisque l'incertitude n'est plus que de 0,012 UFC/kg MS.

- La teneur en MOD de l'aliment [(teneur en MS - teneur en cendres) x dMO] peut être établie par le laboratoire. Les teneurs en MS et cendres sont fournies par l'analyse fourragère. La dMO peut être prédite par la méthode enzymatique pepsine-cellulase à l'aide de l'équation de prédiction indiquée ci-dessous (Andrieu et Martin-Rosset, 1993) avec une incertitude de 1,6 point :

$$dMO = 20,57 + Di + 0,6683 \text{ DCMO (\%)} \quad R = 0,971 \text{ ETR}^* = 1,59$$

Di = + 2,26 pour les fourrages verts

Di = - 2,26 pour les foins

DCMO = Digestibilité pepsine-cellulase de la matière organique

- La teneur en Energie Digestible (ED) peut être prédite à partir de la teneur en Energie Brute (EB) mesurée à la bombe calorimétrique par les laboratoires d'analyse et de la digestibilité de l'énergie (dE)  
ED (kcal/kg MS) = EB x dE

- la dE est calculée à partir de la dMO mesurée au laboratoire en utilisant l'équation reliant dE et dMO (Martin-Rosset et al., 1994).

$$dE (\%) = 0,0340 + \Delta + 0,9477 \text{ dMO} \quad R = 0,997 \text{ ETR}^* = 1,1$$

$\Delta = + 1,1$  concentrés

$\Delta = - 1,1$  fourrages

L'incertitude sur la valeur ED est de 100 kcal/kg MS soit 4,9% pour le foin de pré moyen.

- La teneur en GC peut être estimée par le laboratoire à l'aide des teneurs établies par I.N.R.A. 1988 (tableau 2).

### Validité et conditions d'utilisation des équations de prédiction de la valeur UFC des fourrages

11 foins de qualité très bonne à médiocre, dont la composition chimique et la digestibilité ont été mesurées à l'I.N.R.A. (CB variant de 260 à 380 g/kg MS) ont été testés.

Dans le cas des *bons foins* (CB < 340 g/kg MS : figure 1) les différences entre la valeur UFC prédite à l'aide des équations n° 1 (CB et MAT) et 2 (CB, MAT et GC) (tableau 1a) et la valeur calculée par la méthode analytique (Martin-Rosset et al., 1994) sont en moyenne respectivement de + 0,007 et + 0,005 UFC/kg MS.

Dans le cas des *mauvais foins* (CB > 340 g/kg MS : figure 1) les différences entre la valeur UFC prédite (équations n° 1 et 2) et la valeur calculée sont en moyenne respectivement + 0,058 et + 0,029 UFC/kg MS. La connaissance de la teneur en GC (équation n° 2) en plus des résultats de l'analyse fourragère (CB et MAT) réduit l'incertitude de moitié 0,029 UFC par kg MS/0,058 UFC. La détermination de la teneur en MOD (équation n° 3) permet de prédire la valeur UFC de ces mauvais foins avec une incertitude encore plus réduite : - 0,011 UFC/kg MS.

La valeur UFC des *mauvais foins* (CB > 340 g/kg MS) doit être prédite de préférence avec l'équation n° 3 faisant intervenir la digestibilité, et éventuellement l'équation n° 2 utilisant en particulier la teneur en GC.

La valeur UFC des *autres foins* (CB < 340 g/kg MS) peut être prédite par les équations n° 1 - 2 ou 3.

### Effets des quantités de fourrages ingérées et du pourcentage de concentré de la ration sur la valeur énergétique prédite du fourrage

La valeur UFC des fourrages prédite à partir des tables ou à partir des résultats de l'analyse de laboratoire est indépendante de la quantité de fourrage ingérée d'après Martin-Rosset et al., 1990, (excepté peut-être dans le cas des pailles) et de la proportion d'aliments concentrés dans la ration (Martin-Rosset et Dulphy, 1987) parce que ces deux facteurs de variation n'ont aucun effet significatif sur la digestibilité du fourrage contrairement à ce que l'on observe chez d'autres herbivores, tels que les ruminants. La valeur UFC des fourrages peut donc être utilisée dans les calculs de ration quelles que soient la composition de la ration et les quantités d'aliment distribuées.

\* ETR : Ecart Type Résiduel

**TABLEAU 2 - TENEURS MOYENNES DES FOURRAGES EN SUCRES<sup>(1)</sup>**  
(d'après INRA 1988)

<b>Fourrages verts</b>	<b>Sucres<sup>(2)</sup></b>	<b>Amidon<sup>(2)</sup></b>
<b>Ray-grass</b>		
Semis de l'année	30-100	
Premier cycle stade feuillu	100-150	
montaison	100-200	
épiaison	100-200	
floraison	100-150	
Repousses avec épis	100-150	
Repousses feuillues	50-100	
<b>Autres graminées</b>		
Semis de l'année	30-80	
Repousses	50-100	
<b>Luzerne et trèfle violet<sup>(3)</sup></b>		traces
Premier cycle début bourgeonnement	60-100	
fin floraison	30-50	
2° et 3° cycle	30-60	
<b>Trèfle blanc</b>	30-40	
<b>Maïs plante entière</b>		
Stade laitieux (25 % MS)	180	160
Stade pâteux (28 % MS)	140	240
Stade vitreux (33 % MS)	100	300
<b>Choux</b>	200-300	
<b>Fourrages conservés</b>		
<b>Foins de premier cycle</b>		
Prairie naturelle	40-80	
Ray-grass	80-150	
Autres graminées	30-80	
Légumineuses	20-40	
<b>Foins de repousses (regains)</b>	30-50	
<b>Ensilages d'herbe</b>		
Ensilages sans conservateur	0-20	
Ensilages avec conservateurs efficaces		
Ray-grass	20-60	
Autres espèces	10-20	
<b>Ensilages de maïs</b>		
Stage laitieux (25 % de MS)		200
Stage pâteux (30 % de MS)		280
Stage vitreux (35 % de MS)		340

MS : matière sèche

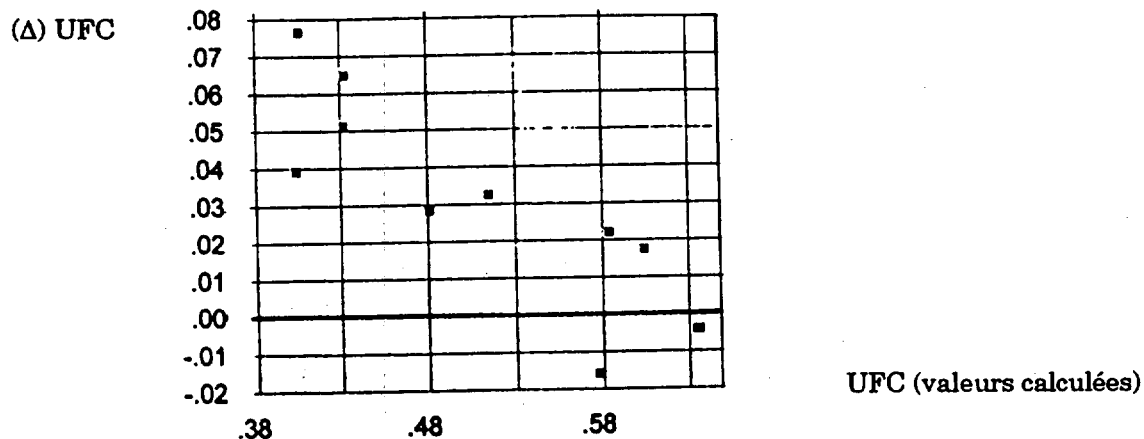
(1) Sous le terme de sucres on entend ici les glucides solubles dans l'eau. Ce sont effectivement des sucres (glucosaccharose...) présent dans la plupart des aliments, mais il s'y ajoute des fructosanes dans le cas des graminées.

(2) en grammes par kg de MS

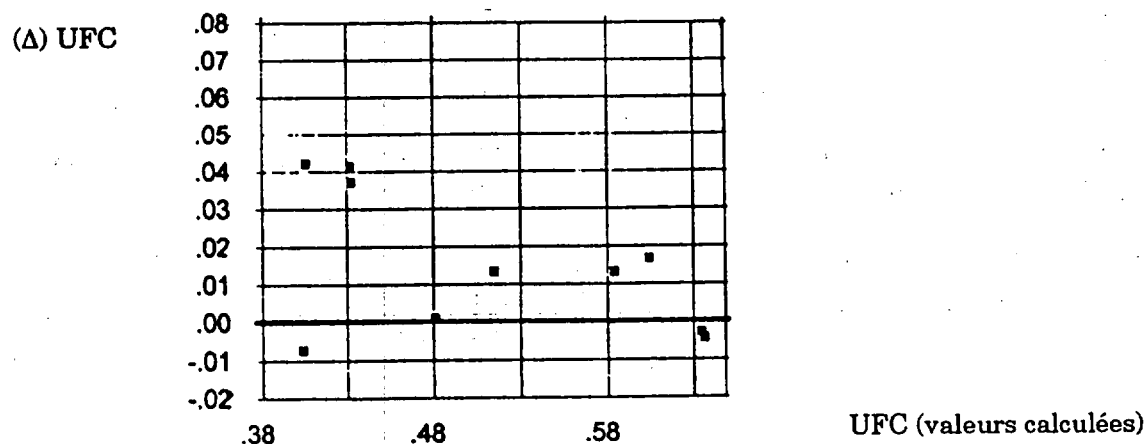
(3) ajouter 20 grammes pour le trèfle violet

**Figure 1 - Comparaison de la valeur UFC de 11 foins (257) < CB\* < 378 g/kg MS) prédite à l'aide des équations INRA 1994 et calculée selon la méthode analytique 1994 à partir de la digestibilité mesurée sur chevaux à l'INRA**

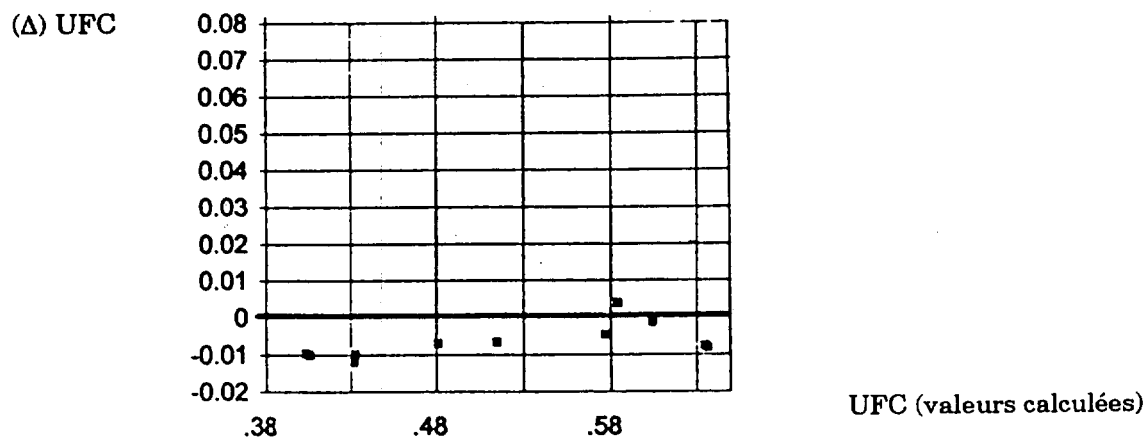
**1 a - Prédiction avec l'équation N° 1 : UFC = f (CB\*, MAT\*)**



**1b - Prédiction avec l'équation n° 2 : UFC = f (CB\*, MAT\*, GC\*)**



**1c- Prédiction avec l'équation n° 3 : UFC = f (GC\*, MOD\*)**



signification (cf. tableau 1)

UFC : valeur calculée (cf. MARTIN-ROSSET et al., 1994) en UFC/MS

Δ UFC : Différence entre valeurs prédites et calculées (Δ = 0 : différence nulle)

## Validité et conditions d'utilisation des équations de prédiction de la valeur UFC des fourrages

11 foins de qualité très bonne à médiocre, dont la composition chimique et la digestibilité ont été mesurées à l'INRA (CB variant de 260 à 380 g/kg MS) ont été testés.

Dans le cas des bons foins (CB < 340 g/kg MS : figure 1) les différences entre la valeur UFC prédite à l'aide des équations N° 1 (CB et MAT) et 2 (CB, MAT et GC) (tableau 1a) et la valeur calculée par la méthode analytique (MARTIN-ROSSET et al., 1994) sont en moyenne respectivement de + 0,007 et + 0,005 UFC/kg MS.

Dans le cas des mauvais foins (CB > 340 g/kg MS : figure 1) les différences entre la valeur UFC prédite (équations N° 1 et 2) et la valeur calculée sont en moyenne respectivement + 0,058 et + 0,029 UFC/kg MS. La connaissance de la teneur en GC (équation N° 2) en plus des résultats de l'analyse fourragère (CB et MAT) réduit l'incertitude de moitié 0,029 UFC par kg MS/0,058 UFC. La détermination de la teneur en MOD (équation N° 3) permet de prédire la valeur UFC de ces mauvais foins avec une incertitude encore plus réduite : - 0,011 UFC/kg MS.

La valeur UFC des mauvais foins (CB > 340 g/kg MS) doit être prédite de préférence avec l'équation N° 3 faisant intervenir la digestibilité, et éventuellement l'équation N° 2 utilisant en particulier la teneur en GC.

La valeur UFC des autres foins (CB < 340 g/kg MS) peut être prédite par les équations N° 1 - 2 ou 3.

## Effets des quantités de fourrages ingérées et du pourcentage de concentré de la ration sur la valeur énergétique prédite du fourrage

La valeur UFC des fourrages prédite à partir des tables ou à partir des résultats de l'analyse de laboratoire est indépendante de la quantité de fourrage ingérée d'après MARTIN-ROSSET et al., 1990, (excepté peut être dans le cas des pailles) et de la proportion d'aliments concentrés dans la ration (MARTIN-ROSSET et DULPHY, 1987) parce que ces deux facteurs de variation n'ont aucun effet significatif sur la digestibilité du fourrage contrairement à ce que l'on observe chez d'autres herbivores, tels que les ruminants. La valeur UFC des fourrages peut donc être utilisée dans les calculs de ration quelles que soient la composition de la ration et les quantités d'aliment distribuées.

## **II. PREDICTION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES ALIMENTS CONCENTRES SIMPLS (MATIERES PREMIERES)**

L'industrie de l'alimentation animale a besoin de connaître la valeur UFC des matières premières pour élaborer des formules d'aliments composés aptes à équilibrer les rations des différents types de chevaux.

La valeur UFC des matières premières doit également être connue par les éleveurs, les entraîneurs et les cavaliers qui utilisent ces aliments pour compléter la ration des chevaux.

La valeur UFC des matières premières peut être prédite également à partir des tables ou à partir des résultats de l'analyse de laboratoire.



## II. PREDICTION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES ALIMENTS CONCENTRES SIMPLES (MATIERES PREMIERES)

L'industrie de l'alimentation animale a besoin de connaître la valeur UFC des matières premières pour élaborer des formules d'aliments composés aptes à équilibrer les rations des différents types de chevaux.

La valeur UFC des matières premières doit également être connue par les éleveurs, les entraîneurs et les cavaliers qui utilisent ces aliments pour compléter la ration des chevaux.

La valeur UFC des matières premières peut être prédite également à partir des tables ou à partir des résultats de l'analyse de laboratoire.

### Prédiction à l'aide des tables de la valeur nutritive des aliments (I.N.R.A. 1990)

La valeur UFC des matières premières (céréales, graines de légumineuses), et des sous-produits de céréales, des graines protéagineuses et oléagineuses (tourteaux) ou d'origine végétale (mélasse, caroubes...) peut être lue directement dans les tables qui comportent 29 aliments. La valeur UFC des aliments ayant subi peu ou pas de traitements technologiques (céréales - graines de légumineuses) est en effet assez stable. En revanche pour les sous-produits la précision est d'autant plus faible que les informations sur les traitements technologiques qu'ils ont subis sont limitées. Il est souvent préférable de recourir à l'analyse.

### Prédiction à partir de l'analyse de laboratoire (Martin-Rosset et al., 1994)

La valeur UFC des aliments riches en parois (sons, tourteaux de tournesol,...) ou (et) ayant subi des traitements technologiques très variables doit être prédite à l'aide d'équations de prédiction proposées par l'I.N.R.A. (tab. 1b).

La précision de la prédiction de la valeur UFC des matières premières est de  $\pm 0,017$  UFC/kg MS soit 1,5 % de la valeur UFC pour un aliment tel que l'orge si le laboratoire utilise les meilleurs critères : CB, MAT, GC et ED. L'incertitude est de  $\pm 0,060$  UFC/kg MS soit 5,2 % de la valeur UFC pour le même aliment si le laboratoire dose seulement CB et MAT.

La connaissance des teneurs en MO et en ED ou de dMO en plus des teneurs en CB ou (et) MAT permet de réduire l'incertitude à  $\pm 0,033$  et  $\pm 0,041$  UFC/kg MS respectivement, soit 2,8 et 3,5% pour un aliment tel que l'orge. La dMO ou ED pourrait être estimée par la méthode pepsine-cellulase, comme cela a été montré chez les Ruminants (Aufreere et Michalet-Doreau, 1988), mais cela reste encore à établir chez le cheval. Dans l'attente il faut utiliser les valeurs de dMO, indiquées dans les Tables I.N.R.A. 1984 pour les aliments considérés.

## III - PREDICTION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES ALIMENTS COMPOSES

### - Le contexte

L'industrie de l'alimentation élabore chaque année de nombreuses formules d'aliments composés complémentaires ou complets. Dans la plupart des cas le fabricant conserve une formule fixe (nature et proportion des matières premières) pour un type d'aliment donné, ce qui assure une plus grande constance de l'aliment. Mais le fabricant peut avoir recours aussi à la programmation linéaire de la formule pour produire un aliment au moindre coût. Dans ce cas la nature des composants et leurs proportions peuvent varier, les apports nutritionnels réalisés étant en théorie constants pour une formule donnée.

Quelles que soient la méthode d'élaboration et la mise en oeuvre des formules, les fabricants doivent déterminer la valeur UFC des aliments composés ainsi produits, d'une part pour vérifier en termes nutritionnels (équilibre des rations) et économiques (coût) l'opportunité du choix et des proportions de matières premières utilisées pour fabriquer les aliments composés et d'autre part pour fournir aux utilisateurs les informations techniques nécessaires.

Les fabricants sont tenus par la réglementation en vigueur d'indiquer sur les étiquettes agrafées sur les sacs d'aliments, la composition chimique (teneur en eau : humidité, matières minérales : MM, matières grasses : MG, cellulose brute : CB, matières protéiques brutes : MAT, extractif non azoté : ENA) déterminée selon un ensemble de méthodes simples et universellement reconnues. Les fabricants peuvent, sans obligation, indiquer la valeur UFC des aliments composés ainsi commercialisés.

L'étiquette fournit donc un certain nombre de renseignements codifiés importants pour permettre à l'utilisateur un emploi rationnel de l'aliment. On peut regretter que les garanties analytiques indiquées ne donnent pas la teneur exacte des différents constituants mais seulement une valeur limite inférieure ou supérieure qui peut être quelquefois relativement éloignée de la valeur exacte. Les nouveaux règlements communautaires prévoient d'ailleurs le remplacement de ces garanties par l'indication d'une fourchette beaucoup plus précise.

Les Centres équestres ou d'entraînement de même que certains cavaliers ou éleveurs professionnels ou amateurs utilisent presque exclusivement ou en proportion importante des aliments composés fabriqués et commercialisés par l'industrie de l'alimentation. Pour le cheval comme pour les autres espèces, l'utilisateur souhaite de plus en plus connaître la valeur UFC si celle-ci n'est pas indiquée par le fabricant ou s'assurer des caractéristiques du produit acheté et notamment de sa valeur UFC lorsque celle-ci est mentionnée sur l'étiquette.

### - Prédiction

La valeur UFC des aliments composés peut être prédite grâce à des équations établies par l'I.N.R.A. en 1984 et qui relie la valeur UFC à la composition chimique des aliments mesurée en routine au laboratoire (tableau 1c). Les teneurs en constituants chimiques ainsi que la valeur UFC prédite sont exprimées par kg de MO car les teneurs en cendres des aliments composés sont très variables et peuvent être très élevées (> 10 %) notamment en raison de l'incorporation relativement importante de CMV (> 3 %).

Ces équations ont été établies pour des aliments composés qui contenaient au maximum 3,0 % d'extrait éthéré dans la matière sèche. La valeur UFC des aliments composés doit être accrue de 0,02 UFC pour 1 % d'extrait éthéré au dessus de 3,5 % dans la matière organique.

Les équations de prédiction avaient été validées en 1984 sur 10 aliments composés à formules ouvertes fournis par des industriels à l'I.N.R.A. (Martin-Rosset et al., 1984). Ces aliments comportaient une proportion importante de céréales (43 % en moyenne) et faible de sous-produits (issues de meunerie : 8 %, luzerne déshydratée 21 %, pulpe de betteraves déshydratées 4 %, graines légumineuses + tourteaux 7 %).

Ces équations de prédiction ont été validées de nouveau en 1994 en raison de l'évolution très significative des formules des aliments composés, notamment l'accroissement de la proportion de céréales traitées, l'augmentation très importante des sous-produits (sons, farines de fourrages déshydratés ou non, pailles, mélasses) voire de l'incorporation accrue de matières grasses d'origine végétale. Leur précision a été testée avec 21 aliments composés : les 10 déjà utilisés en 1984 et 11 aliments composés supplémentaires à formules ouvertes fournis gracieusement à l'I.N.R.A. par des industriels de l'alimentation animale français et européens. Ces 11 aliments comportaient une proportion élevée de sous-produits (issues de meunerie : 33 %, graines de légumineuses + tourteaux : 8 %, coques de soja : de 0 à 12 % et farines de fourrages plus ou moins déshydratés : de 0 à 30 %). L'ensemble des 21 aliments composés était largement représentatif des formules d'aliments composés actuelles.

La précision des équations de prédiction (I.N.R.A. 1984) a été confirmée. Les différences obtenues pour les 21 aliments composés, entre les valeurs UFC prédites à l'aide de l'équation N° 11 ( $CB_0 MAT_0$  et  $AMI_0$ ) et les valeurs calculées à partir des Tables d'alimentation, ont été en moyenne de 0,44 UFC pour 100 kg de matière organique (fig. 2). Les écarts extrêmes sont de + 2,4 UFC et - 3,7 UFC pour 100 kg de MO. Dans ce dernier cas il s'agit d'un aliment composé comportant 12 % de coques de soja. On sait que cet aliment, riche en parois très digestibles, voit sa valeur UFC sous-estimée par les différentes équations de prédiction : une augmentation de 1 % de la proportion de coques de soja dans la formule entraîne une sous-estimation de la valeur UFC de l'aliment composé de 0,16 UFC par 100 kg de MO.

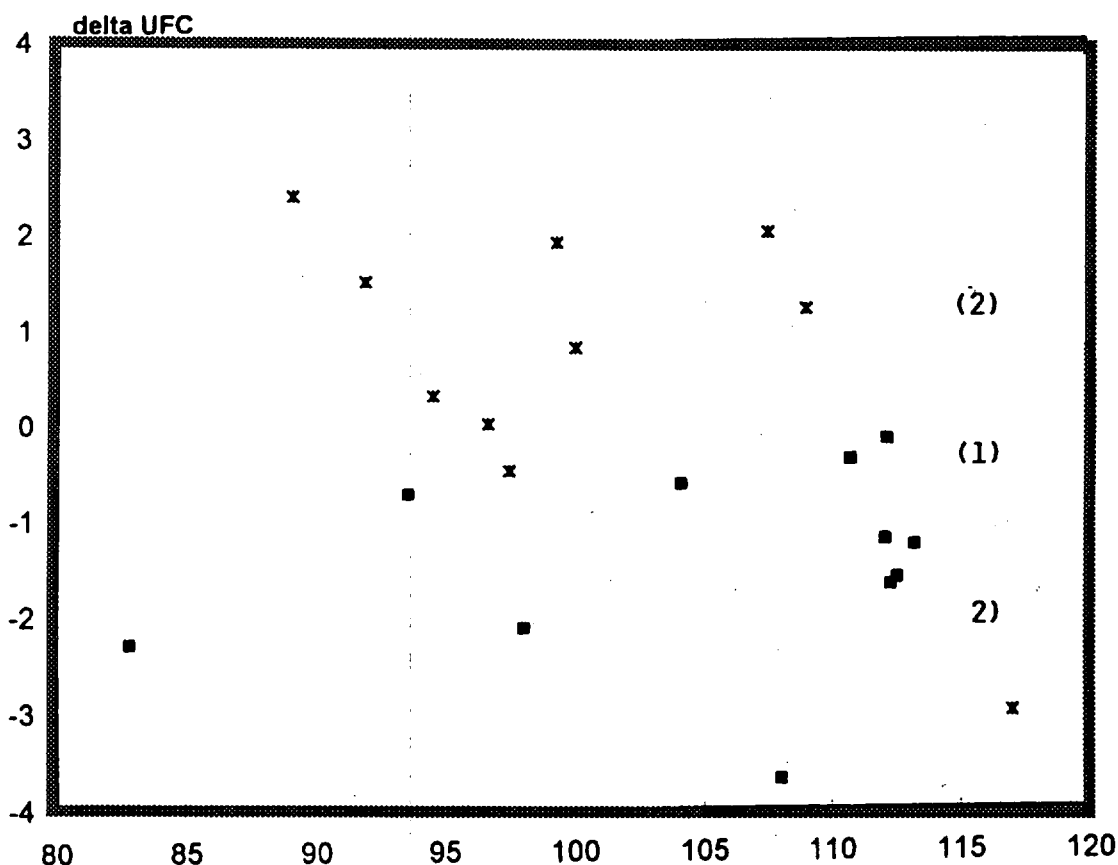
## CONCLUSION

La valeur énergétique des aliments est une des composantes majeures à connaître pour calculer les rations des chevaux.

L'utilisateur peut maintenant connaître rapidement et avec une bonne précision la valeur énergétique des aliments :  
- soit à l'aide des tables des aliments lorsque les caractéristiques botaniques, et les conditions de récolte et de conservation des fourrages sont bien connues et également dans le cas de la plupart des matières premières,

Figure 2 : Différences entre les valeurs UFC de 21 aliments composés du commerce prédites à l'aide de l'équation n° 11 proposée par l'I.N.R.A. en 1984 ( $CB_o + MAT_o + AMO_o$ ) et les valeurs UFC calculées à partir de celles des aliments simples et des formules ouvertes (différences en UFC par 100 kg de matière organique (1) différence moyenne ; (2) différence  $\pm$  écart-type)

NB : les 2 flèches correspondent aux corrections que l'on peut apporter pour tenir compte des teneurs élevées en



- soit à partir de l'analyse réalisée par un laboratoire pour les fourrages mal connus, les sous-produits issus de traitements technologiques particuliers et surtout pour les aliments composés.

Dans le cas particulier des fourrages la précision des relations de prédiction de la valeur UFC sera très probablement encore améliorée par l'I.N.R.A. dans l'avenir en utilisant des critères chimiques encore plus précis, mesurables à l'aide de méthodes de routine automatisées (lignocellulose ou ADF) ou (et) des teneurs en éléments digestibles mesurées par une méthode enzymatique (pepsine-cellulase) ou par une méthode biophysique : la spectrophotométrie dans le proche infra-rouge ou SPIR. L'I.N.R.A. a achevé fin 1994 de constituer une banque unique de données sur la digestibilité des fourrages chez le cheval pour proposer, à court terme, de telles méthodes.

Les équations de prévision de la valeur UFC des aliments composés à partir de la composition chimique, établies par l'I.N.R.A. en 1984, ont été validées de nouveau avec des aliments composés très variés et conservent tout leur intérêt. Un pas supplémentaire dans l'amélioration de la précision pourra être réalisé à moyen terme avec l'introduction, dans les équations de prédiction, de la teneur en MOD déterminée par une méthode enzymatique (pepsine-cellulase).

Le système I.N.R.A. des UFC est donc un système non seulement plus précis mais également plus complet et plus évolutif que le système Energie Digestible américain proposé par le NRC en 1978 et 1989.

## BIBLIOGRAPHIE

- AUFRERE J., MICHALET-DOREAU B., 1988. Comparison of methods for predicting digestibility of feeds. *Anim. Feed Sc. Techn.*, 20, 203-218.
- ANDRIEU J., MARTIN-ROSSET W., 1993, Prediction of organic matter digestibility (OMD) of forages in horses with different method. 44th EAAP Ann. Meeting Aarhus 16-19 August. Denmark.
- MARTIN-ROSSET W., ANDRIEU J., VERMOREL M., DULPHY J.P., 1984. Valeur nutritive des aliments pour le cheval. In « Le Cheval » R. Jarrige, W. Martin-Rosset - Ed. INRA Publications, 208-238.
- MARTIN-ROSSET W., DULPHY J.P., 1987. Digestibility interaction between forages and concentrates in horses : influence of feeding level -comparison with sheep. *Livest. Prod. Sci.*, 17:263-276.
- MARTIN-ROSSET W., DOREAU M., BOULOT S., MIRAGLIA N., 1990. Influence of level of feeding and physiological state on diet digestibility in light and heavy breed horses. *Livest. Prod. Sci.*, 25:257-264.
- MARTIN-ROSSET W., VERMOREL M., DOREAU M., TISSERAND J.L., ANDRIEU J., 1994. The french horsefeed evaluation system and recommended allowances for energy and protein. *Livest. Prod. Sci.*, 40, 37-56.
- INRA, 1984. Tables de la valeur nutritive des aliments pour le cheval. in « Le Cheval ». R. Jarrige et W. Martin-Rosset. Ed. INRA Publications, Paris. 661.689.
- INRA, 1988. Tables des aliments. in « Alimentation des Bovins, Ovins et Caprins ». R. Jarrige Ed. INRA Publications, Paris. 445-446.
- INRA, 1990. L'alimentation des chevaux. W. Martin-Rosset Ed. INRA Publications, Route de St Cyr, 78000 Versailles, 232 pp.
- National Research Council, (NRC) 1989. Nutrients requirements of domestic animals. n° 6. Nutrient requirements of Horses, 5th Revised Edition. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 100 pp.
- VERMOREL M., JARRIGE R., MARTIN-ROSSET W., 1984. Métabolisme et besoins énergétiques du cheval. Le système des UFC. in « Le Cheval » R. Jarrige et W. Martin-Rosset Ed. INRA Publications, 237-276.
- VERMOREL M., JARRIGE R., MARTIN-ROSSET W., 1993. The French horse net energy system (UFC) : Concepts scientific bases and structure. 44th EAAP Meeting Aarhus. 16-19 August. Denmark. pp.14.
- VERMOREL M., MARTIN-ROSSET W., 1993. The french horse net energy system (UFC). In : Proc. 13th Equine Nutrition and physiology Symposium. Gainesville. Florida University, pp. 16-17.

