
 7 mars 1984


DÉPENSES ÉNERGÉTIQUES DU CHEVAL ET EXPRESSION DE LA VALEUR ÉNERGÉTIQUE DES ALIMENTS (1)

Par M. VERMOREL, R. JARRIGE,
W. MARTIN-ROSSET

I.N.R.A. Theix, 63122 CEYRAT

Résumé et Abstract en fin de communication
page 125 a

Malgré les nombreux essais d'alimentation réalisés en France et en Allemagne à la fin du siècle dernier sur des chevaux de trait ou de cavalerie, et les études sur le travail effectuées au début de ce siècle et dans les années 1930 aux États-Unis, en Allemagne, en URSS, en Grande-Bretagne et en France, les connaissances sur la nutrition énergétique du Cheval sont beaucoup moins développées que pour le Porc et les Ruminants. La principale raison est probablement la régression considérable de la population chevaline, concurrencée par les tracteurs et les voitures automobiles, à une époque où les recherches sur la digestion et le métabolisme se développaient rapidement sur les autres espèces. Depuis quelques années cependant, le Cheval connaît un regain d'intérêt avec le développement du sport équestre et de l'élevage du cheval lourd et les études sur la digestion et le métabolisme ont apporté de nouvelles données sur la physiologie de la nutrition des équidés.

Dans les systèmes classiques Européens, la valeur énergétique des aliments et les apports recommandés pour les Chevaux étaient exprimés en énergie nette, comme pour les Ruminants. L'unité était l'équivalent-amidon de Kellner (tableau 1) en Allemagne, Suisse, Pays-Bas, Grande-Bretagne... L'unité fourragère Orge dans les Pays Scandinaves, en France, etc... et l'unité fourragère Avoine dans les Pays de l'Est. WOLTER (1975) a conservé ces recommandations en UF. Les tables Néerlandaises récentes (1976) sont fondées sur l'énergie nette d'entretien et de lactation pour les ruminants.

Par contre, aux U.S.A., on utilisait le système des TDN de MORRISON (tableau 1). Le National Research Council a conservé cette expression en éléments digestibles dans ses mises à jour (1973-1978) des Recommandations alimentaires pour les Chevaux. Il utilise en parallèle l'énergie digestible (ED) et les TDN. LOWE et MEYER (1974) et TISSERAND (1979) ont proposé eux aussi l'énergie digestible, parce qu'elle repose sur plus de données que l'énergie nette et qu'elle permet de se rattacher aux Recommandations du NRC, les seules modernisées.

Il était donc indispensable de clarifier la situation et de proposer un système fondé sur la valeur énergétique réelle des aliments (l'énergie nette), reposant sur l'utilisation métabolique des produits terminaux de la digestion et tenant compte des fonctions physiologiques les plus importantes. Il était nécessaire également de préciser les dépenses énergétiques des chevaux en se reportant directement aux résultats expérimentaux, pour l'entretien et le travail et de déterminer ces dépenses dans le cas de la croissance en particulier.

(1) cet article est une adaptation du texte plus complet publié dans l'ouvrage intitulé LE CHEVAL REPRODUCTION, ALIMENTATION, EXPLOITATION, 1984, Compte-Rendu des 13^{èmes} Journées du Grenier de Theix

Tableau 1 : QUELQUES DEFINITIONS

Les valeurs énergétiques des aliments, les dépenses et les besoins des animaux peuvent être exprimés dans les unités suivantes

- . Énergie brute · EB, quantité de chaleur libérée par combustion
- . Énergie digestible · ED = énergie brute - énergie des fèces
- . TDN · éléments digestibles totaux (1 kg TDN = 4400 kcal d'énergie digestible)
- . Énergie métabolisable · EM = ED - énergie de l'urine - énergie du méthane
- . Énergie nette · EN = EM - extra chaleur d'utilisation

L'énergie nette est le contenu énergétique de l'aliment qui permet de couvrir les dépenses de l'animal. Sa valeur varie selon les fonctions physiologiques (entretien, engraissement, croissance, lactation)

- . Équivalent-Amidon (EA) : valeur énergétique nette d'un kg d'amidon pour l'engraissement chez le Ruminant
- . UF Scandinave : valeur énergétique nette d'un kg d'orge pour l'engraissement chez le Ruminant.

Tableau 2 : RECOMMANDATIONS ÉNERGÉTIQUES POUR L'ENTRETIEN DES CHEVAUX ADULTES

(OLSSON et RUUDVERE, 1955)

Poids (kg)	UF Scandinaves		ED (Mcal)	
	500	700	500	700
KELLNER et FINGERLING (1924)	4,5	6,0	17,5	23,3
HANSSON (1938)	4,5	6,3	17,5	23,3
JESPERSEN (1949)	4,3	5,7	16,7	22,1
CRASEMANN (1945)	4,1	5,1	15,9	19,8
EHRENBERG (1932)	-	4,7	-	18,9
AXELSSON (1943)	4,1	5,1	15,9	19,8
POPOV (1946)	4,6	-	17,8	-
LARSSON et al (1951)	4,5	5,5	17,5	21,3
MORRISON (1937)	3,5	4,5	16,7	21,6
Moyenne générale	4,26	5,36	16,94	21,18
Moyenne sans MORRISON	4,37	5,49		

* Valeurs recalculées par les auteurs sur la base d'un foin de graminées récolté avant floraison. ** Calculé en considérant 1 UFSc = 3,88 Mcal ED pour ce foin. *** Calculé directement à partir des données originales de MORRISON en considérant que 1 kg TDN = 4,4 Mcal ED

1435

99h

1 - DEPENSES ENERGETIQUES DU CHEVAL

Comme pour les autres espèces, on distingue chez le Cheval la dépense d'entretien et les dépenses de production pour des raisons didactiques, bien que l'ensemble du métabolisme soit influencé par les variations des dépenses de l'animal.

A) DEPENSE ET BESOIN D'ENTRETIEN

Le besoin d'entretien peut être défini comme la quantité d'énergie nécessaire pour couvrir les dépenses correspondant à la vie et à l'activité normale d'un animal qui n'assure aucune production et se maintient à poids constant. Comme chez les autres espèces, il n'augmente pas linéairement avec le poids vif mais est proportionnel au poids métabolique (P à la puissance $0,75$, $P^{0,75}$) de l'animal. La composante principale est le métabolisme de base qui correspond à la dépense énergétique d'un animal à jeun, au repos, dans la zone de neutralité thermique ; les données expérimentales, obtenues par calorimétrie indirecte, sont peu nombreuses et assez variables, mais de l'ordre de $90 \text{ kcal/kg } P^{0,75}$ soit 25 à 30 % de plus que pour les bovins.

Le besoin d'entretien comprend également les dépenses liées à l'ingestion et à la digestion des aliments, à l'excrétion des déchets toxiques, à la thermorégulation et à l'activité physique spontanée qui peut être très variable selon les individus. Il a été déterminé dans quelques cas par calorimétrie indirecte, à l'aide de chambres respiratoires, pour une quantité d'énergie fixée nulle. Cependant, la plupart des données ont été obtenues dans des essais d'alimentation au cours desquels la ration était ajustée pour maintenir constant le poids des animaux pendant une période d'un à plusieurs mois. Malheureusement, les résultats ont été exprimés dans diverses unités (ED, EM EA, UFSc) et la conversion est délicate en raison du manque d'information sur les régimes utilisés.

Les recommandations anciennes pour les chevaux de trait ont été regroupées par OLSSON et RUUDVERE (1955) et converties en UF Scandinaves (tableau 2). Si l'on exprime ces recommandations en énergie digestible, on constate qu'elles s'élèvent en moyenne à $160 \text{ kcal/kg } P^{0,75}$. Les données expérimentales plus récentes, obtenues au cours d'essais d'alimentation avec des chevaux de selle, conduisent également à un besoin d'entretien voisin de $160 \text{ kcal ED/kg } P^{0,75}$ soit 17 Mcal ED pour un Cheval de 500 kg (tableau 3).

Si les valeurs moyennes rapportées dans ces 2 tableaux sont assez voisines, la variabilité individuelle est très élevée, avec des écarts de 30 à 40 % pour des animaux de même type, en raison probablement des différences de tempérament (tonus musculaire, activité physique spontanée). Ce phénomène est souligné dans les recommandations du NRC (1978). De plus, le besoin d'entretien semble varier de façon inexplicable dans le temps (FINGERLING, 1931 - 1939)..

Le besoin d'entretien des mâles entiers (en dehors des périodes de service) serait supérieur de 10 à 15 % (AXELSSON, 1949) et celui des femelles serait inférieur (KOSSILA et al. 1972) à celui des chevaux hongres. NADAL'JAK et GAZOUBMEN (1961) ont également mis en évidence des différences de dépense au repos allant jusqu'à 20 % entre 4 races de chevaux de trait lourds. Enfin, le besoin d'entretien des poneys, par kg de poids métabolique, semble inférieur à celui des chevaux (ELLIS et LAURENCE, 1980).

Le besoin d'entretien déterminé par calorimétrie indirecte est généralement inférieur à celui obtenu dans les essais d'alimentation : $110 \text{ kcal EM/kg } P^{0,75}$ selon HOFFMANN et al (1967) ; $114 \text{ kcal EM/kg } P^{0,75}$ selon KNOX, CROWNOVER et WOODEN (1970). Cette différence pourrait avoir plusieurs

Tableau 3 : BESOINS D'ENTRETIEN DES CHEVAUX DE SELLE DETERMINES AU COURS D'ESSAIS D'ALIMENTATION (poids constant)

	Chevaux		Energie digestible	
	Type	Nombre	kcal/kg $P^{0,75}$	Mcal/500 kg
ALBERT (1959)	Demi-sang, femelle		177	18,7
BREUER (1968)	Demi-sang, mâle et femelle	18	162	17,1
STILLION et NELSON (1972)	Demi-sang, mâle	6	156	16,5
ANDERSON et al (1983)	Demi-sang, mâle	4	160	16,9

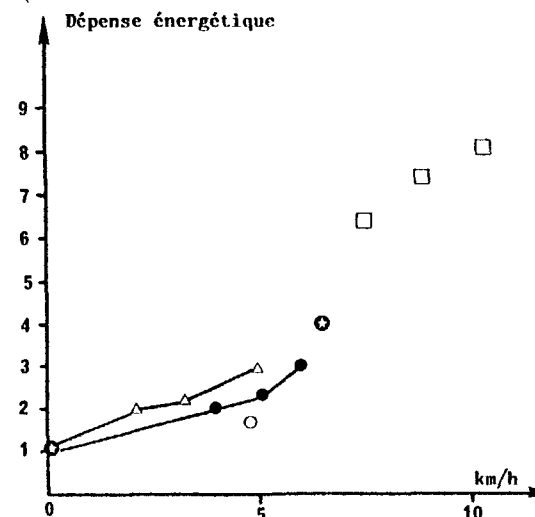


Figure 1 : Variations relatives de la dépense du Cheval à la marche (multiples de la dépense au repos) en fonction de la vitesse

ZUNTZ et HAGEMANN, 1978

BRODY, 1943 (Percheron)

VOGELSANG (1981) (chevaux pur-sang)

HOFFMANN et al, 1967

NADAL'JAK (1961)

(chevaux de trait lourds)

**Tableau 4 : VARIATIONS DE LA PUISSANCE ET DE LA QUANTITE DE TRAVAIL QUOTIDIEN
FOURNIE PAR UN CHEVAL DE TRAIT SELON LA VITESSE (GOUIN, 1932)**

explications, parmi lesquelles le choix d'animaux calmes, la diminution de l'activité physique à l'intérieur des chambres respiratoires et la réduction du métabolisme consécutive à une restriction alimentaire. En effet, comme l'Homme, le Cheval adapte facilement ses dépenses énergétiques aux apports alimentaires.

Il semble donc que le besoin d'entretien soit de l'ordre de 150 à 160 kcal ED/kg P 0,75 pour les chevaux de trait et les chevaux de selle, ce qui est en accord avec la valeur de 155 adoptée par le NRC (1978). Cependant, si les besoins des chevaux de selle ont été déterminés sur des animaux en période de repos, ceux des chevaux de trait correspondent à des animaux en période de travail dont le métabolisme était vraisemblablement augmenté par l'activité. Enfin, comme nous le verrons plus loin, pour une dépense d'entretien donnée, le besoin d'entretien, exprimé en ED ou en EM, varie avec la composition de la ration (KELLNER, 1909) et il est nécessaire de l'exprimer en énergie nette.

B) DEPENSES LIEES A L'ACTIVITE PHYSIQUE

. Station debout : la dépense énergétique est la même qu'en position couché aussi bien chez le Cheval adulte que chez le Poulain en croissance, grâce à un système de ligaments suspenseurs très efficace ; le Cheval dort aussi confortablement debout que couché (BRODY, 1945).

. Marche : La dépense énergétique du Cheval par unité de temps augmente avec la vitesse (fig. 1). Pour des vitesses supérieures à 5 km/h, l'augmentation semble exponentielle. Cependant, pour des vitesses inférieures ou égales à 4 km/h, le coût net de la marche (dépense totale - dépense au repos) est plus faible pour les chevaux que pour les bovins et les hommes : 0,385, 0,452 et 0,544 kcal/kg/km respectivement.

Pour une vitesse donnée, la dépense énergétique est directement proportionnelle à la distance parcourue ; ainsi, le besoin quotidien est augmenté de 18 % et de 36 % pour des distances de 12 et 24 km de marche (HOFFMANN et al, 1967), soit un accroissement de 7 % environ par heure de marche. Dans le cas d'étalons de trait lourds, l'augmentation des besoins quotidiens se situe vers 16 % par heure de marche (NADAL'JAK ET GAZOUBHEN, 1961). En revanche, les recommandations du NRC (1978) et de HINTZ (1983) sont beaucoup plus faibles : accroissement de 1,5 % du besoin quotidien par heure de marche.

Lorsque le Cheval se déplace sur un plan incliné, il faut ajouter aux dépenses de la marche celles du travail d'élévation du poids du corps. Pour un animal de 500 kg, parcourant une distance de 6,2 km à la vitesse de 9,3 km/h sur une pente de 9 %, l'augmentation des besoins quotidiens est de 2/3 (ANDERSON et al, 1983). C'est un élément à prendre en compte pour les chevaux qui font du cross-country.

. Trot et galop : Les dépenses énergétiques correspondant à la course ont pu être mesurées grâce au développement de la technologie (analyseurs de gaz très rapides, télémetrie), qui a permis de mesurer en continu la consommation d'oxygène des chevaux au trot ou au galop. Elles augmentent linéairement avec la vitesse : FEDAK ET SEIBERMAN (1979) sur poneys, MEIXNER, HORNICKE et EHRLEIN (1981) sur chevaux de selle. Si l'on tient compte de la dette d'oxygène pour les vitesses les plus élevées, on peut calculer les variations de la dépense énergétique d'un cheval de selle monté, en fonction de la vitesse : la dépense est multipliée par 6 au pas rapide, par 12 au trot moyen et par 30 environ au galop rapide, avec un maximum estimé à 50. Les recommandations du NRC (1978) sont fortement sous-estimées et les dépenses estimées par HINTZ (1983), sont encore très inférieures aux précédentes ; elles sont multipliées par 1,4 au pas, 4,6 au trot léger, 9 au trot rapide, 17 au galop avec sauts et par 30 pour un effort violent.

Allure	Vitesse (km/h)	Force (kg)	Durée (h.mn)	Distance (km)	Travail (kgm)
Cheval de trait					
Au pas (camionnage)	4,3	70	8.00	34,4	2 439 000
Petit trot (omnibus)	15,0	38	1.45	16,0	608 000
Trot allongé (tramway)	18,0	27	1.30	17,0	458 000
Grand trot (diligences)	20,0	26	1.20	16,0	415 000

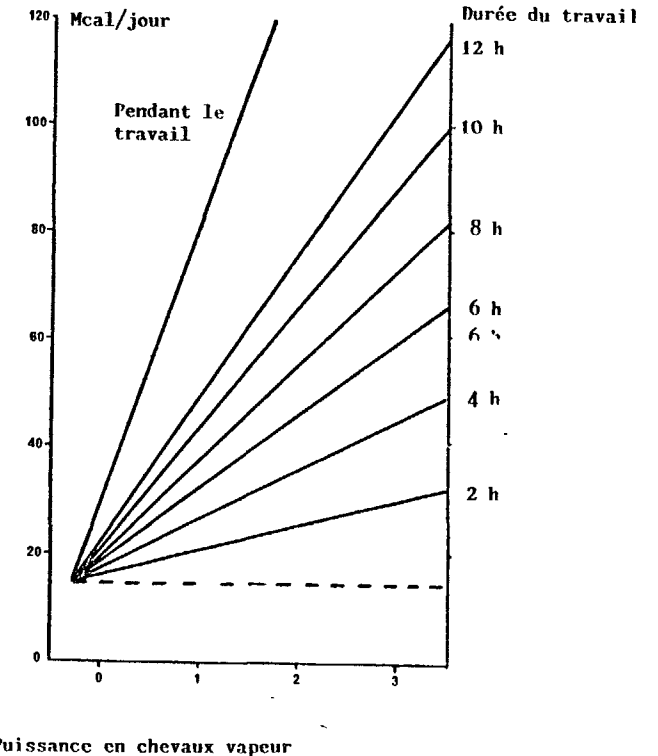


Figure 11: Variation de la dépense énergétique avec la puissance et la durée (BRODY, 1945)

**Tableau 5 : APPORTS RECOMMANDÉS EN UF SCANDINAVES POUR L'ENTRETIEN ET LE TRAVAIL
DANS LE CAS D'UN CHEVAL DE 500 kg**

(OLSSON et RUUDVERE, 1955)

Traction des charges

A la dépense de déplacement du Cheval s'ajoute la dépense énergétique correspondant au travail de traction de la charge. Le travail est le produit de la force exercée (en kg) par la distance parcourue (en m) ; il s'exprime en kgm. La dépense énergétique de traction dépend du rendement d'utilisation de l'énergie pour le travail (cf. § IIC).

Les chevaux peuvent exercer pendant quelques secondes (et souvent sans respirer) une force maximale (pic d'effort) qui peut représenter de 80 à 90 % de leur poids. Le pic d'effort est proportionnellement plus élevé chez les chevaux légers que chez les chevaux lourds. La dépense énergétique correspondante est environ 100 fois supérieure à celle du Cheval au repos et provoque une dette d'oxygène importante (BRODY, 1945).

La force moyenne de traction et la quantité de travail fournie par jour diminuent lorsque la vitesse augmente (GOUIN, 1932 ; tableau 4). Bien qu'un Cheval puisse facilement exercer, au pas, une force correspondant à 35 % de son poids, l'expérience a montré qu'un animal de 500 kg peut fournir chaque jour pendant 8 à 10 heures un travail de 75 kgm/s correspondant à une force de traction de 68,2 kg à la vitesse de 1,1 m/s (4 km/h). C'est la définition du cheval vapeur. La dépense correspond à 8 fois celle du métabolisme de repos (BRODY, 1945).

Les travaux réalisés à la fin du siècle dernier par MORIN ET LAVALARD ont permis de préciser les différents éléments qui déterminent la force de traction d'un véhicule en fonction de ses caractéristiques physiques (poids, dimensions des roues, frottements), de la nature du sol et de la pente, et de préciser ainsi les quantités de travail correspondantes (GOUIN, 1932). La dépense énergétique du Cheval augmente linéairement avec la puissance exercée et la durée du travail (fig.11). Pour une durée de 8 heures, et pour des puissances de 1 ch et 2 ch, elle est 2,6 et 4 fois plus élevée que l'entretien pour des puissances de 1 ch et 2 ch (BRODY, 1945).

Les recommandations alimentaires anciennes, établies pour les chevaux de trait, ont été réunies par OLSSON et RUUDVERE (1955). Elles sont exprimées en UF scandinaves et correspondent à 4 niveaux d'intensité de travail (léger, normal, dur, très dur) (tableau 5). JESPERSEN (1941) a précisé les besoins supplémentaires (en UF Sc) par heure selon l'intensité du travail (très léger : 0,2 ; léger/0,3 ; moyen : 0,5 ; dur : 0,7 ; très dur : 1,0 UF Sc/h). Ces valeurs ont été testées pendant des décennies, ce qui leur confère une bonne crédibilité. En revanche, les recommandations du NRC (1978) pour les chevaux de selle méritent des vérifications vu la variabilité des valeurs trouvées pour les dépenses liées à l'activité physique et la diversité des travaux qui peuvent être demandés à un Cheval.

C) DEPENSES LIEES A LA GESTATION

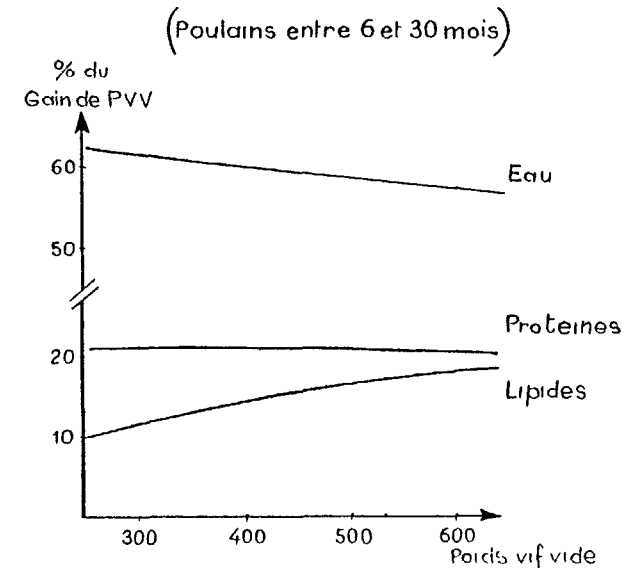
Chez les bovins et les ovins, le dépôt d'énergie dans le fœtus des équidés et les annexes augmente de façon exponentielle au cours de la gestation. Il passerait de 360 à 850 kcal par jour pour une jument de selle (NEYER et AHLSSWEDE, 1976) et de 500 à 1200 kcal/j pour une jument lourde entre le 8ème et le 11ème mois de gestation (MARTIN-ROSSET et DOREAU, 1984).

D) DEPENSES LIEES A LA LACTATION

La teneur en énergie brute du lait de jument se situe, selon les auteurs, entre 500 et 550 kcal/kg au cours du premier mois de lactation et entre

Intensité de travail (millions de kgm)	léger (0,5)	normal (1,5)	dur (2,5)	très dur > 3
KELLNER et FINGERLING (1924)	6,7	8,1	10,8	-
HANSSON (1938)	6,5	7,8	9,3	> 10
CRASEMANN (1945)	6,2	7,3	9,1	10,4
AXELSSON (1943)	5,8	7,5	9,2	-
POPOV (1946)	6,3	7,9	10,1	-
LARSSON et al (1951)	6,1	7,7	9,4	-
MOYENNE	6,3	7,7	9,7	

Figure III: Evolution de la composition du gain de poids vif vide des poulains en fonction du poids vif vide (ACADRIEL, MARTIN-ROSSET et ROBELIN, 1984)



450 et 500 kcal/kg par la suite (ULLREY et al, 1966 ; OFTEDAL et al, 1983). La production lactée au cours des 3 premiers mois de lactation est comprise entre 10 et 15 kg par jour pour les juments de selle (GIBBS et al, 1982 ; OFTEDAL et al, 1983) et entre 20 et 30 kg par jour pour des juments lourdes (DOREAU et al, 1982 et non publié). La dépense énergétique de sécrétion lactée se situe entre 5000 et 8000 kcal/jour pour les juments de selle et entre 10 000 et 15 000 kcal par jour pour les juments lourdes.

E) DEPENSES LIEES A LA CROISSANCE

Les données bibliographiques sur l'évolution de la composition anatomique ou chimique du Poulain au cours de la croissance sont hétérogènes en raison de la diversité des types d'animaux utilisés et des états d'engraissement à l'abattage. Cependant, les études systématiques réalisées par MARTIN-ROSSET et al (1983) sur des poulains de race lourde entre les âges de 6 et 30 mois ont permis de déterminer l'évolution de leur composition corporelle et celle du gain de poids (fig. III).

Chez le Poulain, comme chez les bovins, la quantité de protéines fixées par kg de gain de masse corporelle diminue lentement (de 200 à 170 g) au cours de la croissance, mais la quantité de lipides fixés passe de 106 g à 182 g et l'énergie ainsi déposée passe de 2100 à 2800 kcal aux poids de 350 et 650 kg respectivement. De plus, pour la même période de croissance, par exemple entre les âges de 6 et 12 mois chez des poulains de race lourde, la quantité d'énergie fixée par kg de gain de masse corporelle augmente avec la vitesse de croissance, passant d'environ 1500 à 2200 et 2550 kcal pour des gains de poids vif de 0,5, 1,0 et 1,4 kg respectivement (AGABRIEL, MARTIN-ROSSET et ROBELIN, 1984). Les besoins énergétiques du Poulain en croissance sont donc très variables selon le type d'animal, l'âge et la vitesse de croissance.

II - UTILISATION ENERGETIQUE DES NUTRIMENTS ET DES ALIMENTS

A) PRODUITS TERMINAUX DE LA DIGESTION

Les études de la digestion réalisées par analyse des contenus des différents segments du tube digestif après abattage des chevaux ou à l'aide de canules, ont permis de faire la part de la digestion des différents constituants alimentaires dans l'estomac et dans l'intestin grêle d'une part et dans le caecum et le gros intestin d'autre part. Schématiquement, le contenu cellulaire des végétaux est digéré en grande partie par voie enzymatique dans l'intestin grêle tandis que les parois sont dégradées par fermentation dans le caecum et le gros intestin (cf. WOLTER, 1982).

Chez le Cheval, comme chez le Porc, les sucres (glucose, fructose, saccharose...) sont dégradés en acide lactique et partiellement en acides gras volatils (acide acétique principalement) dans l'estomac et le début de l'intestin grêle. L'amidon est digéré en grande partie par voie enzymatique dans l'intestin grêle avec formation de glucose ; la proportion varie de 70 et 95 % selon la nature de cet amidon, la quantité ingérée et le mode de présentation (HINTZ et al, 1971 ; WOLTER et GOUY, 1976 ; WOLTER et CHAABOUNI, 1979 ; MARTIN-ROSSET et al, non publié).

La part de la digestion des matières azotées dans l'intestin grêle varierait avec la nature des aliments, de 30 à 45 % pour les foin, de 60 à 70 % pour l'herbe pâturée, 80 % pour les céréales et les tourteaux. Les acides aminés sont absorbés dans l'intestin grêle. De plus, une partie des protéines

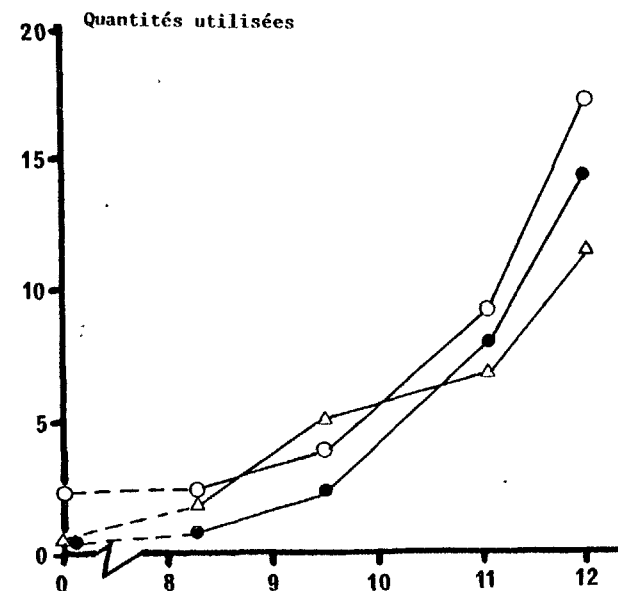


Figure III: Variations de l'utilisation du glycogène musculaire (Δ) et des concentrations en lactate musculaire (○) et sanguin (●) après une course de trot de 2000 m en fonction de la vitesse

- Δ mM d'unités glucose/mm/kg muscle frais
- mM de lactate/kg muscle frais
- mM de lactate/l sang

(LINDHOLM et SALTIN, 1974)

microbiennes formées dans le caecum est dégradée et les acides aminés sont partiellement absorbés (Cf. texte de JARRIGE et TISSERAND).

La digestibilité vraie des matières grasses est supérieure à leur digestibilité apparente en raison de la formation de lipides microbiens excrétés dans les fèces (SAUER et al, 1979). Elle est voisine de 90 - 95 % (FINGERLING, cité par NEHRING et FRANKE, 1954 ; DOWMAN et al, 1977 ; KANE, BAKER et BULL, 1979). Plus de 90 % de la digestion a lieu dans l'intestin grêle et donne naissance à des acides gras longs absorbés sur place.

Les constituants des parois végétales (cellulose, hémicelluloses, substances pectiques) ne sont pratiquement pas digérés dans l'intestin grêle et sont partiellement dégradés, comme le reste de l'amidon et des matières azotées, en acides gras volatils (AGV) par les bactéries du caecum et du colon (WOLTER, 1984). La composition du mélange d'AGV dépend de la nature des substrats fermentés ; le pourcentage d'acide acétique augmente avec la teneur en parois (cellulose brute) de la ration.

Les fermentations microbiennes dans le gros intestin s'accompagnent d'une production de méthane et de chaleur qui correspondent à une perte d'énergie alimentaire, comme chez les ruminants. Les données sur la production de méthane chez le Cheval sont en nombre relativement réduit car les mesures nécessitent l'emploi de chambres respiratoires. L'énergie perdue sous forme de méthane représente de 2 à 3 % de l'énergie ingérée (FINGERLING, 1931-1939).

B) UTILISATION METABOLIQUE DES DIFFERENTES SOURCES D'ENERGIE

Dans les heures qui suivent les repas, des quantités importantes de nutriments sont absorbées et utilisées pour des synthèses et la constitution des réserves dans le foie, les tissus adipeux et les muscles en particulier. Le glucose est stocké sous forme de glycogène ou de triglycérides, les acides gras sous forme de triglycérides et les acides aminés sous forme de protéines. Les acides gras volatils sont formés et absorbés de façon plus continue et utilisés directement comme source d'énergie par les différents tissus ou pour la synthèse d'acides gras longs (à partir de l'acétate) ou de glucose (à partir du propionate).

En revanche, dans les périodes où l'absorption des nutriments est réduite, surtout si la dépense énergétique est élevée (travail, lactation, ...) l'organisme puise dans ses réserves corporelles. Chez le Poney au repos, le glucose représente une part très faible des sources d'énergie utilisées par l'organisme : 9 % chez l'animal à jeun ou recevant du foin et 16 % dans le cas d'une ration comportant 59 % d'avoine (ARGENZIO et HINTZ, 1972 ; ANWER et al, 1976) ; donc 85 à 90 % des dépenses énergétiques totales sont couvertes par de l'acétate et par des acides gras longs provenant des lipides corporels.

Lorsque l'activité physique augmente, l'utilisation des réserves s'intensifie. La marche ne semble pas modifier les proportions des différentes sources d'énergie utilisées (GOODMAN et al, 1973). En revanche, en cas d'effort modéré mais prolongé (traction, trott léger...) la part des lipides corporels augmente et devient plus de 10 fois supérieure à celle du glycogène (LINDHOLM, 1979 ; GOODMAN et al, 1979).

Enfin, lorsque l'effort devient intense et que la consommation d'oxygène s'approche de la capacité maximale, le catabolisme oxydatif des acides gras est insuffisant pour couvrir les dépenses énergétiques du muscle et la contribution du glucose augmente fortement par suite d'une mobilisation rapide du glycogène musculaire et hépatique (LINDHOLM et SALTIN, 1974, fig. 4). La mise à contribution des fibres musculaires à contraction rapide et très pauvres en mitochondries (MICHHAUX et al, 1984) provoque une dégradation anaérobie intense

du glucose entraînant une accumulation de lactate dans les muscles, principale cause de l' limitation des performances et de fatigue. L'augmentation de l'utilisation du glucose comme source d'énergie est liée beaucoup plus à l'intensité de l'effort qu'à sa durée.

L'entraînement physique favorise le stockage de glycogène musculaire, la capacité d'utilisation des acides gras longs et le métabolisme aérobie de ces composés dans le muscle, ce qui explique l'amélioration des performances tant en intensité qu'en endurance (épargne du glycogène, limitation de la formation de lactate) et une récupération plus rapide après l'effort (GOODMAN et al, 1973 ; LINDHOLM et PIEHL, 1974 ; SNOW et MACKENZIE, 1977 ; SNOW et ROSE, 1981).

Au cours de la gestation, la quantité de glucose métabolisé dans l'organisme de la jument augmente (EVANS, 1971). Le glucose est, en effet, le principal substrat énergétique du foetus, bien que les acides gras longs traversent le placenta. En conséquence, les besoins en glucose de la jument doivent être accrus au cours du dernier tiers de la gestation lorsque les dépenses du foetus augmentent de façon exponentielle.

Au cours de la lactation, le besoin en glucose de la jument est à peu près triplé pour la formation du lactose (ANWER et al, 1975). L'acétate constitue une source d'énergie importante pour la jument et le principal précurseur des matières grasses du lait avec les acides gras (lipoprotéines) d'origine alimentaire ou corporelle (mobilisation des réserves). Il est donc souhaitable d'ajouter à la ration de fourrages des aliments concentrés riches en amidon pour permettre à la jument d'atteindre sa production maximum de lait.

C) RENDEMENT D'UTILISATION DE L'ENERGIE

Le rendement est le rapport entre la quantité d'énergie produite par l'animal (énergie nette : lait, viande, travail...) et la quantité d'énergie alimentaire utilisable par les tissus (énergie métabolisable, EM) pour la produire : $k = EN/EM$.

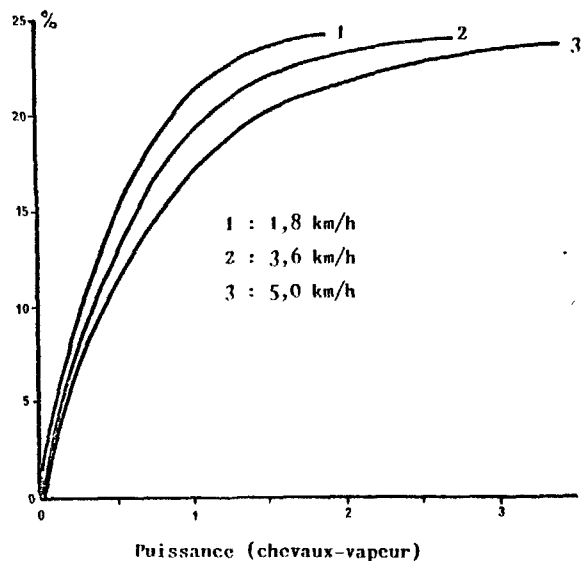
Pour l'engraissement, les valeurs du rendement d'utilisation de l'EM par le Cheval sont voisines de celles obtenues par KELLNER chez le Porc (de 70 à 80 %) et très supérieures à celles obtenues chez le Ruminant (50 à 55 %) dans le cas des aliments concentrés digérés essentiellement par voie enzymatique dans l'intestin grêle. En revanche, dans le cas des fourrages, digérés par voie fermentaire dans le caecum et le gros intestin, les valeurs sont voisines de celles obtenues chez le Ruminant (de 30 à 50 %) (FINGERLING, 1931-1939).

Chez le Cheval, le rendement d'utilisation de l'EM est donc très lié à la nature des produits terminaux de la digestion. Les différences relatives de valeur énergétique (valeur de substitution) entre les fourrages et les concentrés sont plus grandes pour l'énergie nette que pour l'énergie digestible et plus importantes chez le Cheval que chez le Ruminant.

Pour la croissance et la lactation : à notre connaissance, on ne dispose pas de données sur l'efficacité d'utilisation de l'énergie pour la croissance et la lactation chez le Cheval. On peut admettre que les aliments ont la même valeur relative (valeur de substitution) pour la croissance et pour l'engraissement, comme chez les ruminants. Pour la lactation, le NRC (1978) admet un rendement de 60 % pour l'énergie digestible, ce qui correspond à un rendement de l'EM de 65 à 70 %, compris entre les valeurs connues chez la Vache (60 %) et la Truie (70 %).

Pour l'entretien et le travail, la dépense énergétique correspond à une fourniture d'énergie libre (ATP) soit pour la contraction musculaire (tonus, respiration, circulation sanguine, ingestion des aliments, activité physique,

Figure V : Variations du rendement global d'utilisation de l'énergie pour le travail par le Cheval en fonction de la puissance (BRODY, 1945)



travail...) soit pour le maintien des gradients de concentration dans les cellules, la resynthèse des composés (protéines, lipides...) correspondant au renouvellement cellulaire permanent, etc. Ces 2 fonctions sont donc comparables en ce qui concerne l'utilisation de l'énergie.

Sur le plan biochimique, le rendement énergétique est ici défini comme le rapport entre l'énergie libre utilisable sous forme d'ATP et l'énergie métabolisable des produits oxydés. Les valeurs sont les suivantes : glucose : 40%, acides gras longs : 38 %, acide acétique : 33 %, propionique : 34 %, butyrique : 35 %. On constate que le rendement des acides gras volatils est inférieur de plus de 15 %, en valeur relative, à celui du glucose. Notons que lorsque le glucose est catabolisé par voie anaérobie, avec formation d'acide lactique, le rendement énergétique est de 3 % seulement.

Pour le travail proprement dit, le rendement d'utilisation de l'énergie a été étudié surtout dans le cas de la traction (BRODY, 1945). Le rendement global (travail fourni/énergie dépensée pendant le travail) augmente de façon exponentielle avec la puissance fournie et tend vers 25 % (fig. V). Cependant, pour une puissance donnée (75 kgm/s), il diminue de 21 à 17 % quand la vitesse passe de 1,8 à 5 km/h. Le rendement net (travail fourni/énergie dépensée-dépense au repos) augmente également et tend vers 28 %. Le rendement absolu (travail fourni/énergie dépensée-dépense du déplacement sans charge) qui traduit le mieux l'efficacité d'utilisation de l'énergie pour le travail, tend vers 30 % et reste donc inférieur aux rendements biochimiques des nutriments. Une partie de l'énergie dépensée est, en effet, utilisée pour l'augmentation du tonus des muscles qui ne participent pas directement à la traction et pour le fonctionnement des muscles respiratoires et du cœur. Le reste de l'énergie métabolisée (70 à 75 %) est dissipé sous forme de chaleur.

Lorsque les chevaux tirent une charge au trot, la force de traction est beaucoup plus faible qu'au pas et le rendement net est inférieur (9 % contre 14 à 19 % chez des trotteurs ; 12 contre 18 % chez des chevaux de trait lourds, NADAL'JAK et GAZOUBMEN, 1961). Ces valeurs sont en accord avec les rendements nets de 13 à 16 % obtenus par MUNTZ et GIRARD, GRANDEAU et LECLERC à la fin du siècle dernier, dans des essais d'alimentation avec des chevaux légers tirant une voiture ou un omnibus au trot accéléré (GOUIN, 1932).

Les essais d'alimentation (substitution d'aliments dans les rations) réalisés à la fin du siècle dernier en Allemagne (travail au manège) et en France (traction des voitures et des omnibus) ont permis de montrer que l'énergie digestible des fourrages est utilisée beaucoup moins efficacement pour le travail que celle des céréales (- 25 % en valeur relative) (WOLFF et al, 1888). Le grand nombre de variables intervenant dans les essais d'alimentation, la variabilité des résultats et les doutes sur les analyses des aliments ne permettent pas de calculer les variations du rendement d'utilisation de l'énergie pour le travail. Les auteurs allemands avaient cependant établi un système de valeur énergétique nette des aliments pour le travail, fondé sur la teneur en éléments digestibles et une correction pour la teneur en "cellulose". Les valeurs relatives étaient les suivantes : orge : 100, maïs : 117, avoine : 87, fèverole : 107, pois : 99, foin de luzerne : 53, foin de prairie : 44 (WOLFF, 1888 ; WOLFF et KREUZHAGE, 1895).

Pour l'entretien, le besoin en énergie digestible varie selon la composition des aliments ou des rations (4200 g ou 3626 g d'éléments digestibles pour un cheval de 500 kg, soit une différence de 14 % avec des rations comportant 25 ou 75 % de concentré) (WOLFF, 1888). Ce phénomène est confirmé par les données de KELLNER (1909). Il traduit une variation du rendement d'utilisation de l'énergie métabolisable pour l'entretien, avec la composition de la ration, montrée par HINTZ (1968).

Tableau 6 : EXEMPLE DE CALCUL DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES ALIMENTS POUR LE CHEVAL
(par kg de matière sèche)

	ED Mcal	EM Mcal	% de l'énergie absorbée				KM	EN Mcal	UFC
			GLUCOSE	Ac. Am.	AG	AGV			
Maïs	4,01	3,63	63	8	8	21	0,800	2,90	1,32
Orge	3,62	3,25	58	10	5	27	0,785	2,56	1,16
Avoine	3,24	2,87	48	11	15	26	0,778	2,23	1,01
Ensilage maïs	3,12	2,76	31	6	6	57	0,729	2,01	0,92
Foin pré, bon	2,36	1,99	13	10	2	73	0,678	1,35	0,61
Paille d'orge	1,49	1,24	0	2	3	95	0,632	0,79	0,36

Cependant, la définition du rendement de l'EM pour l'entretien (km) est différente des précédentes puisque l'énergie produite (ATP) pour assurer l'homéostasie cellulaire et tissulaire n'est pas mesurable. Le rendement énergétique absolu (k) serait le suivant :

$$k_1 = \frac{\text{énergie fournie (ATP)}}{\text{énergie des réserves corporelles catabolisées}}$$

$$k_2 = \frac{\text{énergie fournie (ATP)}}{\text{EM des aliments}}$$

A titre indicatif, k1 est voisin de 38 %, k2 doit être compris entre 25 et 30 % selon les aliments. On considère que l'utilisation de l'EM des aliments permet d'épargner l'énergie des réserves corporelles (énergie nette). Le rendement (km) d'utilisation de l'EM pour l'entretien est en fait le rapport entre l'efficacité d'utilisation de l'EM (k2) et l'efficacité d'utilisation de l'énergie des réserves corporelles (k1) . km = k2/k1

$$km = \frac{\text{énergie corporelle épargnée}}{\text{EM nécessaire pour l'entretien}}$$

$$km = \frac{\text{EM d'entretien}}{\text{EM}}$$

De ce fait, km est beaucoup plus élevé pour l'entretien (65 à 80 %) que pour le travail mais en valeur relative, les variations sont les mêmes en fonction de la composition des aliments, ce qui signifie que les aliments ont la même valeur énergétique relative (valeur de substitution) pour l'entretien et pour le travail (ARMSBY, 1922).

III - PREVISION ET EXPRESSION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES ALIMENTS ET DES BESOINS DES CHEVAUX (2)

A) CHOIX DE L'UNITE : L'UFC

Nous avons choisi d'évaluer la valeur énergétique des aliments en énergie nette (EN) pour l'entretien du Cheval et de l'exprimer dans une unité fourragère renouée, l'unité fourragère Cheval (UFC) pour les raisons suivantes :

L'énergie nette est la meilleure base pour comparer la valeur énergétique des aliments. Elle seule tient compte des différences entre catégories d'aliments dans le rendement de l'utilisation métabolique de l'énergie digestible (ED) ou de l'énergie métabolisable (EM), qui font qu'une même quantité de ces dernières apporte à l'animal des quantités d'énergie nette (EN) différentes.

Mais le rendement de l'EM en EN varie avec la nature de la dépense énergétique, donc de la situation physiologique du Cheval. Nous avons choisi la

Tableau 7 : EQUATIONS DE PREVISION DU RENDEMENT D'UTILISATION DE L'ENERGIE METABOLISABLE POUR L'ENTRETIEN CHEZ LE CHEVAL EN FONCTION DE LA COMPOSITION CHIMIQUE DES ALIMENTS (teneurs en g/kg MS)

Pour les fourrages (n = 41)

	Syx	R ²
100 km = 67,86 - 0,010376 CB + 0,01584 MAT + 0,02374 GC	± 0,34	0,974
100 km = 77,99 - 0,03123 CB	± 0,81	0,843
100 km = 64,69 - 0,01356 CB + 0,015 269 MOD	± 0,65	0,902

Pour les céréales et les graines de légumineuses (n = 32)

100 km = 77,30 - 0,00522 CB - 0,01023 MAT + 0,00509 GC	± 0,26	0,972
100 km = 81,63 - 0,02051 CB - 0,01271 MAT	± 0,45	0,912
100 km = 74,94 - 0,00496 CB - 0,01459 MAT + 0,00735 MOD	± 0,37	0,943

Pour les sous-produits de meunerie (n = 11)

100 km = 71,89 + 0,00838 CB - 0,00274 MAT + 0,0101 GC	± 0,64	0,800
100 km = 78,35 - 0,02277 CB - 0,00856 MAT	± 0,75	0,685

Pour les tourteaux (n = 8)

100 km = 67,03 + 0,004261 MAT + 0,01566 GC	± 0,29	0,90
100 km = 67,13 + 0,00278 CB + 0,00528 MAT	± 0,44	0,70

(2) Ces propositions sont le résultat des travaux d'une équipe de chercheurs de l'INRA animée par R. JARRIGE et composée de J. AGABRIEL, J. ANORIEU, M. DOREAU, W. MARTIN-ROSSET, J. ROBELIN, P. THIVEND, J.-L. TISSERAND, M. VERMOREL et J. VERNEI.

situation d'entretien parce que c'est la plus fréquente pour les chevaux actuels, tout au moins dans les pays développés. De plus, les dépenses d'entretien représentent la majeure partie des dépenses totales des animaux en production : de 80 à 95 % chez les poulains de selle en croissance ; de 60 à 80 % chez les poulains de races lourdes à l'engrais ; toujours plus de la moitié chez les juments en lactation. Les variations de rendement de l'EM sont probablement très voisines pour la lactation et l'entretien, comme chez les Ruminants (Van Es, 1975).

L'expression de la valeur énergétique nette des aliments par rapport à celle de l'orge prise comme référence dans les systèmes classiques en UF, présente de nombreux avantages :

- c'est en terme de substitution, plutôt qu'en valeur EN absolue, que se comparent le mieux les aliments, au plan métabolique comme au plan du rationnement et du commerce,
- les différences de valeur énergétique des aliments pour deux fonctions différentes (entretien et entretien + croissance, par exemple) sont plus faibles en valeur relative (UFC) qu'en valeur absolue car elles sont "tamponnées" par les variations mêmes de l'orge pour ces deux fonctions,
- les valeurs en UFC des aliments sont additives, de même que les besoins des animaux, ce qui facilite le calcul des rations,
- les valeurs énergétiques inconnues de certains aliments peuvent être plus facilement dérivées d'essais d'alimentation ou estimées à partir de leurs valeurs déterminées chez les ruminants ou chez les porcs. De plus, l'expression en UF permet de mieux intégrer les données "classiques" européennes,
- un système en UF a l'avantage d'être concret (un kg d'orge est plus parlant qu'un kg de TDN, une mégacalorie ou un mégajoule) et d'avoir été enseigné, vulgarisé et utilisé pendant des décennies. Enfin, il est rationnel et plus simple d'avoir pour le Cheval un système parallèle à ceux des Ruminants (UFL et UFV) et le même aliment de référence.

B) CALCUL DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES ALIMENTS

. Principe

La valeur énergétique en UFC d'un aliment est obtenue en divisant sa valeur énergétique nette (EN) en kcal par celle de l'orge de référence (2200).

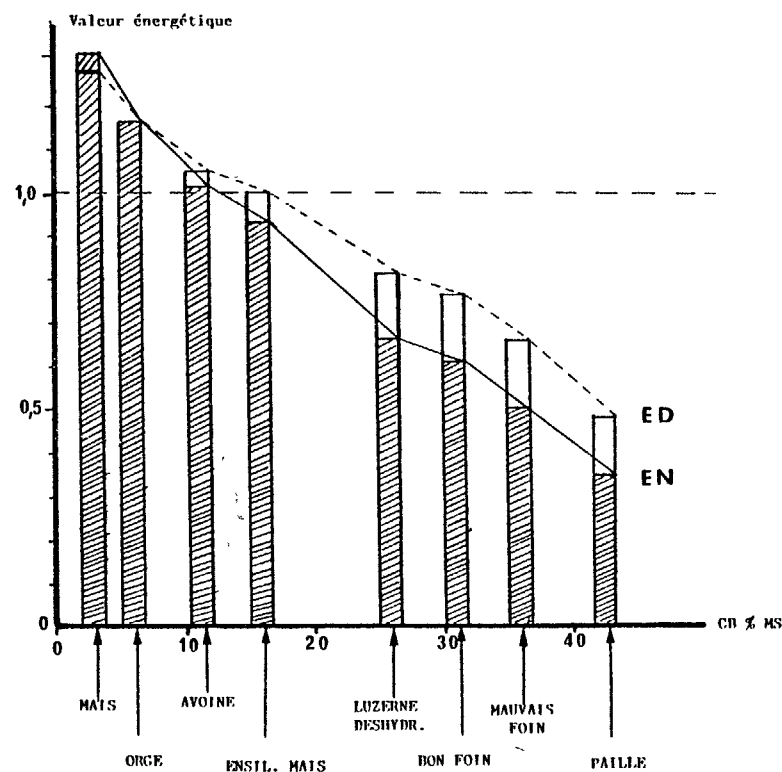
Pour calculer la valeur EN de chaque aliment, l'orge de référence comprise, on calcule successivement :

- l'énergie brute EB, à partir de la composition chimique,
- l'énergie digestible : $ED = EB \times DE$ (digestibilité de l'énergie)
- l'énergie métabolisable : $EM = ED \times \frac{LM}{ED}$
- et l'énergie nette : $EN = EM \times km$ (rendement pour l'entretien)

$$\text{valeur énergétique UFC} = \frac{EB \times de \times EM \times km}{ED \times 2200}$$

Cette démarche analytique est identique à celle retenue pour calculer les valeurs énergétiques en UFL et UFV pour les Ruminants. Elle permet d'utiliser toutes les connaissances actuelles pour chacune des étapes et d'intégrer les données à venir sans avoir à modifier la structure du système.

Figure VI: Variations relatives des valeurs énergétiques des aliments selon le mode d'expression : énergie digestible --- et énergie nette (UFC) — (valeurs rapportées à celles de l'orge de référence)



- **Energie brute (EB) et digestibilité de l'énergie (dE)** : ces valeurs peuvent être déterminées directement sur les aliments ou estimées à partir de leur composition chimique (Cf. texte de MARTIN-ROSSET, ANDRIEU ET VERMOREL).

- **Passage de l'énergie digestible (ED) à l'énergie métabolisable (EM)**
 Pour tenir compte des pertes d'énergie dans l'urine et sous forme de méthane, on a utilisé la relation suivante établie à partir des bilans effectués sur des chevaux recevant différentes rations par FINGERLING (1931-1939), HOFFMANN et al (1967), KANE et al (1979).

$$100 \text{ EM/ED} = 88,01 - 0,02356 \text{ CB} - 0,0217 \text{ MAT} + 5,95 \text{ NA} \quad \text{Syx} = 2,02$$

(CB et MAT en gQ/kg MS ; NA = niveau d'alimentation $r = 0,720$ $n = 75$)

La valeur énergétique des aliments étant calculée pour l'entretien (NA = 1), la relation devient :

$$100 \text{ EM/ED} = 93,96 - 0,02356 \text{ CB} - 0,0217 \text{ MAT}$$

Cette relation conduit à un rapport EM/ED variant de 83 % pour la paille et 83 - 85 % pour les foin à 88 - 91 % pour les céréales.

- Rendement d'utilisation de l'EM pour l'entretien (km)

En l'absence de données précises sur le Cheval, le rendement km a été calculé à partir des valeurs connues chez le Porc et chez les ruminants en tenant compte de l'énergie fournie par les différents produits terminaux de la digestion et en prenant pour le glucose : 85 %, les acides gras longs : 80 %, les acides aminés : 70 %, comme chez le Porc ; pour les acides gras volatils, de 63 à 68 % pour des mélanges dont la proportion d'acide acétique varie de 78 à 60 % comme chez les ruminants.

Le rendement km diminue en même temps le pourcentage de l'énergie absorbée fournie par le glucose, de 80 % pour le maïs, à 68 % pour un bon foin de pre et 63 % pour la paille (tableau 6).

Le même calcul a été effectué pour 82 aliments (41 fourrages et 41 aliments concentrés) en vue d'établir des relations de prévision de km en fonction de la composition chimique. La prise en compte de la teneur en glucides cytoplasmiques (GC = sucres + amidon) ou de la teneur en matière organique digestible (MOD, g/kg MS) améliore la précision des relations (tableau 7).

Pour les sous-produits de meunerie et les tourteaux, l'introduction de la teneur en MOD n'améliore pas la précision des relations. Enfin, les relations établies pour l'ensemble des aliments concentrés sont un peu moins précises (Syx = 1,0 ou 1,5) que les relations indiquées dans le tableau 7.

- L'Unité fourragère Cheval (UFC)

C'est la valeur énergétique nette pour l'entretien d'un kg d'orge de référence à 86 % de MS

Energie brute	3800 kcal
Energie digestible (dE = 0,82)	3110 kcal
Energie métabolisable (EM/ED = 0,90)	2800 kcal
Energie nette (km = 0,785)	2200 kcal

1 UFC = 2200 kcal EN d'entretien

- Valeur énergétique (UFC) des aliments = $\frac{\text{EN aliment}}{2200}$

La valeur énergétique des aliments est exprimée en UFC par kg de matière sèche et par kg de produit brut dans les Tables d'Alimentation (Cf. texte de MARTIN-ROSSET, ANDRIEU ET VERMOREL). La plage de variation (UFC/kg MS) est la suivante : maïs : 1,32, orge : 1,16, avoine : 1,02, ensilage de maïs : 0,92, foin : de 0,67 à 0,50, paille : 0,35.

La plus grande partie des différences entre aliments est due à la digestibilité de la matière organique (ou de l'énergie) mais les passages à l'énergie métabolisable puis à l'énergie nette d'entretien creusent les écarts de valeur énergétique entre les aliments au fur et à mesure que la teneur en glucides pariétaux (cellulose brute) de l'aliment augmente (fig.VI). La valeur énergétique de la paille est égale à 41 % de celle de l'orge en ED, 38 % en EM et 31 % en UFC.

C) EVALUATION DES APPORTS ENERGETIQUES RECOMMANDES

Les dépenses énergétiques analysées au chapitre I engendrent des besoins énergétiques qui doivent être couverts par les apports alimentaires, au jour le jour ou à l'échelle de périodes plus ou moins longues. Dans le premier cas, on peut parler indifféremment de besoins ou d'apports énergétiques recommandés. Mais dans le cas des juments pendant l'hiver les apports recommandés peuvent être inférieurs aux besoins dans certaines conditions.

La méthode utilisée pour établir des apports recommandés en UFC diffère selon la situation physiologique des animaux et les données disponibles.

* Adultes à l'entretien

Nous avons utilisé à la fois les recommandations classiques (tableau 2), qui concernaient surtout les chevaux de trait. Les recommandations modernes du NRC (1978) aux USA, pour des chevaux de selle et les autres données bibliographiques.

Les valeurs sont relativement sûres en moyenne mais restent à adapter pour tenir compte des différences entre individus, qui sont beaucoup plus importantes que pour les autres espèces d'animaux de ferme.

* Majoration pour l'exercice physique

La quantité d'énergie à apporter en sus de l'entretien est extrêmement variable, non seulement avec la durée et l'intensité de l'exercice, mais aussi avec de l'âge, l'empâtement, la "condition" et l'entraînement du cheval, le poids et l'adresse du cavalier ou du conducteur, etc.

Elle sera exprimée en UFC par heure de travail et 100 kg de poids vif, pour les principaux types d'exercice physique, comme c'est le cas dans certaines recommandations classiques (par exemple, celles de JESPERSEN, 1949) et dans celles du NRC. Ces besoins énergétiques horaires étaient assez bien établis, et plus faciles à codifier, pour les chevaux de trait. Ils sont très mal connus et doivent être beaucoup plus variables pour les chevaux de selle.

Des calculs sont en cours, à partir des données rapportées dans le premier chapitre. Leurs résultats seront confrontés avec les observations effectuées dans certains Centres équestres, disposant d'observations quantitatives (poids d'aliments consommés, poids et état des animaux). On devrait aboutir à des estimations des besoins par heure de travail qui seront à peu près correctes dans la majorité des situations, à l'exception de la compétition.

Juments en gestation et lactation

Les besoins supplémentaires de gestation sont calculés à partir des quantités d'énergie déposées dans les produits de la conception (foetus et ses annexes : utérus + mamelle) et du rendement supposé de l'EM pour ce dépôt (15 % chez les Ruminants, 30-40 % chez la Truie).

Mais les derniers mois de gestation se situent en période hivernale. On peut faire des économies d'aliment en obligeant la jument à couvrir une partie de ses dépenses énergétiques à partir de ses réserves lipidiques qu'elle a accumulées pendant la période d'élevage. Les apports énergétiques recommandés seront donc inférieurs aux besoins ; la différence sera fixée à partir de l'analyse complète des essais d'alimentation qui ont été réalisés à Theix.

Le besoin supplémentaire de lactation peut être calculé correctement à partir du besoin par kg de lait et de la quantité de lait produite. C'est cette dernière qui est la plus mal connue. On ne sait pas pour l'instant de combien, et pendant quelle durée, les apports énergétiques peuvent être inférieurs aux besoins.

Poulains en croissance

On a mesuré les quantités d'énergie ingérée par les poulains et le croît correspondant, dans des essais d'alimentation réalisés par la Station Expérimentale des Haras à Chamberet et par l'INRA.

On en a déduit des relations générales qui permettent de calculer les besoins énergétiques en UFC en fonction du poids et du croît journalier. Elles sont satisfaisantes pour les poulains de 6 à 12 mois et de 18 à 24 mois, sur lesquels ont porté les essais.

CONCLUSION

Les particularités de la digestion et du métabolisme du Cheval ne permettent pas de considérer que la valeur énergétique des aliments est la même que chez les Ruminants, comme c'est le cas dans la plupart des systèmes existants sauf celui du NRC. Les différences d'efficacité d'utilisation des produits terminaux de la digestion (glucose, acides gras volatils...) entraînent des variations importantes du rendement d'utilisation de l'énergie digestible ou de l'énergie métabolisable et justifient l'expression de la valeur énergétique des aliments en énergie nette.

Le nouveau système INRA repose sur l'utilisation digestive des aliments et l'utilisation métabolique des nutriments chez le Cheval. Les valeurs de certains coefficients utilisés demandent à être précisées mais elles permettent de faire un grand pas de la teneur en énergie digestible des aliments en direction de leur valeur énergétique réelle.

En ce qui concerne les apports énergétiques recommandés, les valeurs disponibles sur les besoins d'entretien des chevaux sont assez cohérentes et les recommandations pour les poulains en croissance, tirées d'essais d'alimentation, doivent être satisfaisantes. Pour les juments allaitantes, la principale inconnue est le niveau de production laitière. En revanche, les dépenses énergétiques pour l'exercice physique des chevaux de selle restent mal connues et sont extrêmement variables. Cependant, on devrait pouvoir les évaluer de façon à peu près satisfaisante à partir des données expérimentales et des observations qui sont à réaliser dans les centres équestres.

Compte-tenu de la variabilité individuelle des dépenses énergétiques des chevaux, liées aux différences de "tempérament" les recommandations proposées n'éviteront pas d'ajuster le rationnement à chaque animal ou chaque groupe de chevaux. Il faut tenir compte également des différences de capacités d'ingestion entre individus et de la nature des sources d'énergie dans le cas des chevaux soumis à des efforts intenses ou prolongés.

RESUME

Les auteurs présentent une analyse critique des dossiers bibliographiques concernant :

- 1/ les dépenses énergétiques des chevaux pour l'entretien, l'activité physique, la gestation, la lactation et la croissance
- 2/ les données récentes sur les produits terminaux de la digestion et l'utilisation métabolique des différentes sources d'énergie chez le cheval, selon l'état nutritionnel, l'état physiologique et l'intensité du travail
- 3/ les rendements d'utilisation de l'énergie pour l'engraissement, le travail et l'entretien.

Ils présentent ensuite un nouveau système d'estimation de la valeur énergétique des aliments pour le cheval, en énergie nette d'entretien, calculée à partir des quantités estimées de produits terminaux de la digestion et de leurs rendements pour l'entretien. La valeur énergétique des aliments est rapportée à celle de l'orge de référence et exprimée en unité fourragère cheval (U.F.C.).

CHEVAL - ENERGIE - METABOLISME - DEPENSES - APPORTS

SUMMARY

This paper summarises the data available on :

- 1) horse energy expenses for maintenance, physical activity, pregnancy, lactation and growth,
- 2) the end products of digestion and the metabolic utilization of the various energy sources depending on nutritional status, physiological stage and work intensity of horses,
- 3) the partial efficiencies of energy utilization for maintenance, work or fattening.

The authors propose a new feed evaluation system for horses based on net energy for maintenance. This latter is calculated from the estimated amounts of end products of digestion and their efficiencies for maintenance. The net energy of feeds is related to that of barley and expressed in feed units (UFC).

HORSE - ENERGY - METABOLISM - NUTRIENT - REQUIREMENTS