

MESURE DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES ALIMENTS ET DES MATIERES PREMIERES CHEZ LE LAPIN UNE APPROCHE CRITIQUE *

ENERGY EVALUATION OF RABBIT FEEDS AND FEEDSTUFFS A CRITICAL APPROACH *

L. MAERTENS (1) , F. LEBAS (2)

(1) *Gouvernement Research Station for Small Stock Husbandry
B. Van Gansberghelaan 92, MERELBEKE, Belgium*

(2) *Laboratoire de Recherches sur l'Elevage du Lapin
INRA Centre de Toulouse, BP 27, 31326 CASTANET-TOLOSAN Cedex, France*

* basée sur le rapport fourni aux participants lors de la "table ronde" n° IV «Estimation de la valeur énergétique des aliments et matières premières pour le lapin» lors du 4^e congrès mondial de Cuniculture, le 13 octobre 1988 à Budapest.

* Based on the report given to the participants at "round table" n° IV : "Energy evaluation of rabbit feeds and feedstuffs" during the 4th World Rabbit Congress - Budapest 13 October 1988.

RESUME

Une revue critique est faite des possibilités actuelles de mesure ou d'estimation par calcul de la valeur énergétique des aliments et des matières premières employés pour l'alimentation du lapin. Le système d'énergie digestible apparent (EDa) est recommandé pour cette évaluation.

La nécessité d'une méthodologie uniforme, à employer lors des déterminations *in vivo* est soulignée. Au moins 6 lapins en croissance, alimentés à volonté, sont nécessaires pour obtenir une détermination suffisamment fiable.

La précision dans l'estimation de la valeur énergétique d'un aliment, basée sur les valeurs tabulaires des composants est discutée. Il est particulièrement souligné qu'il est important de faire appel à des tables récentes et correctement déterminées. Le calcul par des équations obtenues par régression multiple utilisant les analyses chimiques permet d'expliquer 85 % à 90 % de la variabilité de la teneur en EDa, en mettant en œuvre 2 ou 3 critères analytiques respectivement. Les premiers résultats obtenus avec les méthodes *in vitro* sont encourageants.

SUMMARY

A critical review is given of the actual possibilities to determine or to calculate the energy value of rabbit feeds and feedstuffs. The apparent digestible energy (ADE) system is recommended for dietary energy evaluation.

Uniformity of the applied methodology for the *in vivo* determination is emphasised. Minimal six, *ad lib.* fed growers are necessary to obtain a sufficient accurate determination.

The accuracy of the estimation of dietary energy content, based on table values of the ingredients, is discussed. The importance of using recently and properly determined data is stressed.

Multiple regression equations based on chemical data explains already 85 % or 90 % of the variability in dietary ADE content, with 2 or 3 characteristics respectively. First results with *in vitro* technics are encouraging.

INTRODUCTION

Lorsqu'il reçoit des aliments équilibrés, le lapin en croissance est capable d'ajuster son ingestion volontaire d'aliment en réponse aux variations de la concentration en énergie de ces aliments (Lebas, 1975 ; Bombeke et al., 1978 ; Spreadbury & Davidson, 1978). Cette régulation de la consommation, qui se traduit par l'ingestion quotidienne d'une quantité constante d'énergie digestible apparente (EDa), est possible dans la plage de concentration de 9,2 à 13,4 MJ EDa/kg (Partridge, 1986).

En raison de cette liaison étroite, les recommandations nutritionnelles doivent être exprimées en fonction de la concentration énergétique de la ration. C'est pourquoi cette dernière est la base de la formulation alimentaire.

La prise en considération de la concentration énergétique de l'aliment est aussi un critère important pour les éleveurs, leur permettant de juger de la qualité et du prix de l'alimentation employée. Un accroissement ou une réduction de la concentration en EDa de 0,5 MJ/kg d'aliment est associé à une réduction ou à un accroissement de l'indice de consommation de 0,2 point environ (Lebas et al., 1982 ; Maertens & de Groote, 1987). En outre, l'importance du rapport protéines/énergie a été clairement démontrée (de Blas et al., 1981 ; Dehalle, 1981).

Pour estimer la valeur énergétique des aliments pour lapins, il est souvent fait appel aux valeurs obtenues chez d'autres animaux (porcs, volailles, bovins). Cependant, de nombreux travaux ont clairement démontré que la digestibilité des aliments par le lapin diffère de celle observée pour les ruminants ou les autres monogastriques (Nehring et al., 1963 ; Ingalls et al., 1964). C'est pourquoi une évaluation correcte de la concentration énergétique des aliments destinés aux lapins ne peut être obtenue qu'avec des lapins.

Bien que, dans le passé récent de nombreux travaux aient été réalisés dans différents pays (Evans, 1982 ; Balogun, 1984 ; INRA, 1984 ; de Blas et al., 1984 ; Parigi-Bini & Dalle Rive, 1977 ; Battaglini & Grandi, 1984 ; Fekete & Gippert, 1986 ; Corino, 1987 ; Maertens & de Groote, 1984, 1986, 1987 et 1988) pour tenter d'obtenir un système pratique d'évaluation énergétique pour le lapin, il n'existe pas actuellement de méthode générale, acceptée par tous, pour l'évaluation ou la prévision de la concentration en énergie des aliments destinés à cette espèce. C'est pourquoi une table ronde a été organisée sur ce thème lors du 4^e Congrès Mondial de Cuniculture à Budapest. L'objet du présent rapport est de fournir une approche critique de ce thème, enrichie des discussions ayant eu lieu lors de la table ronde. Une version presque similaire de ce rapport a été publiée en langue italienne par Maertens et Parigi-Bini (1988).

INTRODUCTION

The growing rabbit is able to adjust its voluntary food intake in response to changes in dietary energy density, when given balanced diets (Lebas, 1975 ; Bombeke & al., 1978 ; Spreadbury & Davidson, 1978). This regulation of intake, to achieve constant daily apparent digestible energy (ADE) intake, is possible only over a range of 9,2 to 13.4 MJ ADE/kg (Partridge, 1986).

Because of this close relationship, recommended nutrient levels must be related to the dietary energy level. For these reasons, the latter is the base for diet formulation.

Dietary energy content of the ration is also a very important item for the breeder to judge both the quality and the price of the feed. An increase or decrease of the ADE content of 0.5 MJ/kg would be associated with a decrease or increase of the feed conversion ratio of nearly 0.2 (Lebas et al., 1982 ; Maertens & de Groote, 1987). Furthermore, the importance of the protein-energy ratio has clearly been demonstrated (de Blas et al., 1981 ; Dehalle, 1981).

For the energy evaluation of rabbit diets, data obtained with other animals (pigs, poultry, cattle) are still often used. Nevertheless, various studies have clearly indicated that the ration digestibility of rabbits differs considerably from that of ruminants and other monogastric animals (Nehring et al., 1963 ; Ingalls et al., 1964). A correct evaluation of the dietary energy concentration is therefore possible only with data obtained from rabbits.

Although, in recent years considerable research has been conducted in different countries (Evans, 1982 ; Balogun, 1984 ; INRA, 1984 ; de Blas et al., 1984 ; Parigi-Bini & Dalle Rive, 1977 ; Battaglini & Grandi, 1984 ; Fekete & Gippert, 1986 ; Corino, 1987 ; Maertens et de Groote, 1984, 1986, 1987, 1988) to obtain a useful energy evaluation system for rabbits, there exist not yet an accepted, general method for the evaluation or prediction of the dietary energy content. For this reason a "round table" discussion was organised during the 4th World Rabbit Congress at Budapest. The purpose of this report is a critical approach of this topic, supplemented with comments of the round table discussion. A quite similar version of this report has been published in Italian by Maertens & Parigi Bini (1988).

1 • WHICH ENERGY SYSTEM FOR RABBIT DIETS ?

The energy losses in the urine are small and for normal diets rather similar (between 4 and 6 % of the ADE, Parigi Bini & Cesselli, 1976). Because of this high correlation between ADE and apparent metabolisable energy (AME), there is no particular advantage in using AME.

In addition, a direct estimation of AME needs to collect both feces and urines, the 2 ways of energy lost. This tends to increase the experimental errors, when compared to the simple fecal measure indispensable for the ADE estimation. There is no doubt that the net energy (NE) is the most precise estimate of a feed's energy value, because it represents the fraction of the gross energy utilized by the animal for productive purposes. Therefore the net energy for production (NEp) is dependent of the production itself (growth, milk-production, ...). Furthermore the determination of the NE is rather difficult. **Use has to be made of** comparative slaughter experiments or respiration trials. Using regression equations, it is also possible to calculate the NE content based on the ADE, AME or digestibility coefficients. Evidences that such calculated NE values are more accurate than ADE or AME in dietary energy evaluation are not available.

For all these reasons ADE values are the most commonly used for rabbits. The relative ease of determination and the high correlation with feed conversion are extra arguments. It has to be emphasised that the ADE overestimates the energy contribution of the protein fraction, because of the incomplete destructed protein found in the urine.

Not all energy losses in the faeces originate directly from the feed. This endogenous fraction is difficult to determine with rabbits because of the caecotrophy phenomenon. Therefore ADE is used in case of "true" DE.

2 • THE IN VIVO DETERMINATION OF THE DIETARY ADE CONTENT

Based on the work performed in France at the INRA (Lebas & Colin, 1976 ; Colin & Lebas, 1976), the following general scheme is often used :

- rabbits are individually housed in digestibility cages
- after a preliminary adaptation period of \pm one week, a balance trial of 7 days (or 2×4 days) is performed
- daily collection of faeces.

1 • QUEL SYSTEME ENERGETIQUE POUR L'ALIMENTATION DU LAPIN ?

Les pertes d'énergie par voie urinaire sont réduites et quasi constantes pour des rations normales (entre 4 % et 6 % de l'EDa ; Parigi-Bini & Cesseli, 1976). En raison de la corrélation très élevée entre l'énergie digestible apparente et l'énergie métabolisable apparente (EMa), il n'y a aucun avantage particulier à l'utilisation de l'EMa. Par contre, pour les mesures directes d'EMa, il y a besoin de déterminer les pertes énergétiques correspondant aux deux voies physiologiquement distinctes : fécale et urinaire. Ceci tend à accroître les erreurs expérimentales par rapport à la simple mesure fécale nécessaire pour connaître l'EDa.

Il n'y a aucun doute sur le fait que l'énergie nette (EN) est la méthode d'estimation la plus précise pour connaître la valeur énergétique des aliments. En effet, elle représente la fraction de l'énergie brute utilisée par l'animal à des fins de production. Corrélativement, l'énergie nette de production (ENp) est dépendante de la production considérée (croissance, production laitière, ...), ce qui n'en facilite pas la détermination. Il peut être fait appel à la technique des abattages ou aux essais en chambre respiratoire. L'utilisation d'équations de régression est également possible pour calculer l'EN, en se basant sur l'EDa, l'EMa ou les coefficients de digestibilité. Mais il n'est pas prouvé que des valeurs d'EN, ainsi calculées, soient plus pertinentes que les mesures d'EDa ou d'EMa, pour l'évaluation de la valeur énergétique des aliments.

Pour ces différentes raisons, les valeurs d'EDa sont celles, le plus souvent employées pour le lapin. Certains ont fait remarquer que les mesures d'EDa surestiment la contribution de la fraction protéique à la fourniture d'énergie, en raison de la destruction incomplète des protéines retrouvées dans les urines.

Toute l'énergie perdue par voie fécale ne provient pas directement de l'alimentation. La fraction endogène est difficile à déterminer chez le lapin, en raison du phénomène de caecotrophie. C'est pourquoi l'ED "apparente" est utilisée à la place de l'énergie digestible "vraie".

2 • DETERMINATION IN VIVO DE LA TENEUR EN EDa DES ALIMENTS

Basée sur les travaux réalisés en France à l'INRA (Lebas & Colin, 1976 ; Colin & Lebas, 1976), le schéma général suivant est souvent employé :

- Les lapins sont logés individuellement dans des cages à digestibilité ;
- Après une période initiale d'adaptation d'environ une semaine, une étude de bilan est effectuée sur 7 jours (ou 2×4 jours) ;
- La collecte des fécès est quotidienne.

En fonction du laboratoire concerné, des lapins en croissance ou des adultes sont utilisés. En faveur de l'usage de jeunes en croissance, on peut retenir les arguments suivants : ils représentent la plus grande part de la consommation alimentaire, et la digestibilité entre 7 et 10 semaines est relativement constante (Lebas, 1973 ; Maertens & de Groote, 1982 ; Hular & Gippert, 1986). Pour les adultes, la digestibilité est dépendante du niveau d'alimentation et du fait qu'ils sont en reproduction ou seulement à l'entretien (Lebas, 1979 ; Maertens & de Groote, 1982 ; Hular & Lasza-Szabo, 1988).

Il y a sans doute aucun des différences de digestibilité entre races (Grobner et al., 1985), mais avec les types génétiques employés à des fins commerciales (Néozélandais blanc, Californien, "hybrides" commerciaux), les différences sont modérées (Lebas, 1973 ; Maertens & de Groote, 1982 ; Hular & Gippert, 1986), particulièrement pour les jeunes en croissance. Les différences entre mâles et femelles sont également négligeables pendant la période de croissance (Colin & Lebas, 1976 ; Maertens & de Groote, 1982 ; Hular & Gippert, 1986). Comme cela a été souligné par de nombreux chercheurs, la digestibilité varie considérablement d'un individu à l'autre (Proto, 1964 ; Colin & Lebas, 1976 ; ... voir la revue de Gioffre et al., 1985) ; de même, la portée d'origine influence également la digestibilité de manière non négligeable (Maertens & de Groote, 1982). **Six répétitions** sont nécessaires pour obtenir un coefficient de variation inférieur à 2 % pour la teneur en EDa, avec des lapins ayant une croissance et une ingestion normales (Maertens et al., 1986).

La restriction alimentaire entraîne un effet significatif sur la digestibilité des aliments (Fekete & Gippert, 1981 ; Ledin, 1984 ; Xiccato & Cinetto, 1988). C'est pourquoi les essais de digestibilité réalisés avec des jeunes en croissance ne peuvent être comparés que si les animaux ont été alimentés **ad libitum**.

Les marqueurs sont rarement employés pour les essais de digestibilité réalisés avec des lapins. En effet, en raison du volume relativement faible correspondant à une **collecte totale** des fécès, cette technique est préférée pour les évaluations énergétiques. La teneur en matière sèche des fécès de lapins est élevée en comparaison de celle des fécès des autres espèces (volailles, bovins, ...). Les pertes au cours d'un séchage à 70°C sont négligeables (Maertens, 1983) et la lyophilisation conduit à des résultats similaires.

L'utilisation d'animaux fistulés (Gidenne & Bouyssou, 1987) ou la digestibilité partielle peuvent être intéressantes dans l'étude du métabolisme azoté mais pas pour l'évaluation énergétique des aliments. La caecotrophie est un phénomène normal chez le lapin ; sa prévention ou la séparation de caecotrophes perdus des crottes dures (Fekete & Bokori, 1985) conduisent à une évaluation inexacte de la valeur énergétique des aliments.

3 • ESTIMATION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES MATIERES PREMIERES

Jusqu'à maintenant, la méthode la plus fréquemment employée est basée sur un **taux d'incorporation unique**.

Depending from the laboratory, growing or adult rabbits are used. Arguments for growers are : they represent the main part of the consumed rabbit diets and the digestibility between 7 and 10 weeks of age is relatively constant (Lebas, 1973 ; Maertens & de Groote, 1982 ; Hular & Gippert, 1986). For adults, the digestibility is dependent of the feeding level and also if they are in reproduction or only in maintenance (Lebas, 1979 ; Maertens & de Groote, 1982 ; Hular & Lasza-Szabo, 1988).

*There is no doubt that differences in digestibility according to the breeds exist (Grobner et al., 1985), but the differences between the commercially used strains (New Zealand White, Californian or meat hybrids) are limited (Lebas, 1973 ; Maertens & de Groote, 1982 ; Hular & Gippert, 1986) especially for growing rabbits. Differences between males and females are also negligible during the growing period (Colin & Lebas, 1976 ; Maertens & de Groote, 1982 ; Hular & Gippert, 1986). As stressed by many researchers, the digestibility between individual rabbits varies considerably (Proto, 1964 ; Lebas & Colin, 1976 ; see review of Gioffre et al., 1985) and litter influences are not negligible (Maertens & de Groote, 1982). **Six replicates**, with a normal growth and feed intake, are necessary to obtain a ADE value with a variation coefficient < 2 % (Maertens et al., 1986).*

*A feed restriction has a significant influence on feed digestibility (Fekete & Gippert, 1981 ; Ledin, 1984 ; Xiccato & Cinetto, 1988). For these reason digestibility trials with growers are comparable only when fed **ad libitum**.*

*Markers are very seldom used for digestibility trials with rabbits. Because of the relatively limited volume of the faeces **total collection** is chosen for dietary energy evaluation. The dry matter content of rabbit faeces is high in comparison with other species (poultry, cattle ...). Losses during the oven drying (70°C) are neglectable (Maertens, 1983), freeze drying leads to comparable results.*

Fistulated rabbits (Gidenne & Bouyssou, 1987) or partial digestibility is of interest for e.g. nitrogen metabolism but not for dietary energy evaluation. Caecotrophy is a normal rabbit phenomenon, every prevention or separation of lost caecotrophes from the hard faeces (Fekete & Bokori, 1985) leads to an unexact dietary energy evaluation.

3 • THE ENERGY EVALUATION OF RAW MATERIALS

*Till now, the most common method used is the **one level assay**. A certain amount of a basal diet is substitu-*

ded by the experimental feedstuff. Basal and experimental diet are assayed in a digestibility trial. Using the difference principle, the value of the test feedstuff can be calculated. For most feedstuffs the inclusion level is between 20 % and 60 % (Lebas & Cheriet, 1981 ; Maertens & de Groote, 1984 ; Balogun, 1984 ; Beltran et al., 1984 ; Fekete & Gippert, 1986). When the feedstuff is not palatable and the composition is near to a rabbit diet, it is even possible to feed the single feedstuff during the digestibility trial (Duchenne, 1980 ; Maertens & de Groote, 1981). It is also possible to substitute one feedstuff of the basal diet, with known digestibility, by the test feedstuff.

Criticisms on the one level inclusion method are :

- The error on the ADE value of the test feedstuff decreased with increasing substitution level. But high inclusion levels are far above practical levels of use.
- For a variety of reasons not all feedstuffs can be incorporated at levels > 20 % (e.g. fats, molasses).
- The assumption is made that no interactions between the basal diet and test feedstuff occur (additivity principle), but may not be true and some observed interactions are important (Gidenne, 1987).

For these reasons, when interactions between nutrients can be expected (high-fat containing feedstuffs, ...) or the inclusion level is limited, the **multi-level** assay is the proper way to evaluate feedstuffs. This technique implicates the testing of a feedstuff at several levels of use, coupled with a regression analysis to describe the dietary ADE evolution. At a given level of incorporation, the ADE of the feedstuff is determined by extrapolating the calculated function value at that level, with the ADE value of the basal diet as a reference (Wiseman, 1984). The problems posed when only one substitution level is used can be solved with the multi-level assay.

Because at least 4 inclusion levels seems recommendable to study the evolution of the ADE value, the multi-level technique is timeconsuming and applied to the already mentioned special raw materials. When there exist no experimental evidence that the additivity principle should be rejected for "normal" feedstuffs (e.g. alfalfa meal ; Maertens & de Groote, 1981), the one-level inclusion method may be employed. But when significant interactions are demonstrated (e.g. beet pulp ; Gidenne, 1987), the multi-level method must be applied.

The choice of the basal diet seems also important in the determination of the feedstuffs' ADE (Maertens, 1988). There is not yet experimental evidence to choose for a synthetic basal diet or if the basal diet has to be formulated in function of the test feedstuff.

Une certaine quantité de l'aliment de base est remplacée par la matière première à tester. Une mesure de digestibilité est effectuée sur l'aliment de base et sur l'aliment expérimental ainsi constitué. Par la méthode des différences, la digestibilité de la matière première est alors calculée. Pour la plupart des produits, le taux d'incorporation est situé entre 20 % et 60 % (Lebas & Cheriet, 1981 ; Maertens & de Groote, 1984 ; Balogun, 1984 ; Beltran et al., 1984 ; Fekete & Gippert, 1986). Quand le produit à tester n'est pas inappétent, et que sa composition est proche de celle d'un aliment pour lapins, il est également possible de l'utiliser comme seul aliment pour la mesure de digestibilité (Duchenne, 1980 ; Maertens & de Groote, 1981). Enfin, il est aussi possible, dans l'aliment de base, de remplacer une matière première de digestibilité connue, par celle qui est à étudier.

Les critiques apportées à cette méthode d'évaluation à taux unique d'incorporation sont les suivantes :

- L'erreur potentielle sur l'estimation de l'EDa diminue lorsque le taux d'incorporation s'accroît, mais les taux d'incorporation dans le mélange de base sont largement au-dessus du taux usuel ;
- Pour des raisons variées, toutes les matières premières ne peuvent être incorporées à des taux supérieurs à 20 % (ex. : graisses, mélasse) ;
- Il est supposé qu'il n'existe pas d'interaction entre la ration de base et le produit testé (principe d'additivité), or ces interactions peuvent exister et même être fortes (Gidenne, 1987).

C'est pourquoi, quand des interactions sont présumées entre ration de base et produit étudié (matières premières riches en lipides, etc.), ou que le taux d'incorporation est limité, il est préférable d'employer des **taux d'incorporation en gamme**. Cette technique suppose le testage d'une matière première à plusieurs niveaux d'incorporation, couplé avec une analyse de régression pour décrire l'évolution de l'EDa des aliments. Pour un taux donné d'incorporation, la teneur en EDa d'une matière première est calculée par extrapolation, à partir de l'équation calculée et du taux d'incorporation, en utilisant comme référence, la teneur en EDa du régime de base (Wiseman, 1984). Ainsi, les problèmes posés par l'usage d'un taux unique d'incorporation sont résolus par l'emploi de taux multiples.

Comme au moins quatre taux d'incorporation semblent souhaitables pour étudier l'évolution de la teneur en EDa, la mise en œuvre de cette technique avec des taux multiples est coûteuse en temps ; elle doit donc être réservée au cas des matières premières particulières mentionnées plus haut. Lorsqu'il n'existe pas de preuve expérimentale conduisant au rejet de l'hypothèse de l'additivité pour les matières premières "normales" (par exemple la farine de luzerne ; Maertens & de Groote, 1981), un taux unique peut être utilisé. Par contre, lorsqu'une interaction significative est prouvée (par exemple pour les pulpes de betteraves ; Gidenne, 1987), la technique à taux multiples doit être utilisée.

Par ailleurs, le choix du régime de base semble être aussi important dans la détermination de l'EDa des matières premières (Maertens, 1988). Il n'existe pas de preuve

expérimentale permettant de savoir s'il vaut mieux utiliser un régime de base semi-synthétique, ou si on doit le formuler en fonction de la matière première étudiée.

4 • CALCUL DE LA CONCENTRATION EN EDa D'UN ALIMENT

a) Basé sur les nutriments digestibles fournissant l'énergie.

Obtenues par régression multiple linéaire utilisant les taux de nutriments digestibles fournissant de l'énergie, des équations ont été proposées pour le calcul des teneurs en EDa (Nehring et al., 1963 ; Maertens et al., 1987). Si la digestibilité *in vivo* est effectivement disponible pour l'aliment étudié, la teneur en EDa peut être calculée avec une grande précision. L'écart par rapport à la mesure directe est inférieure à 1 % (Fekete & Papp, 1981 ; Maertens & de Groot, 1981). Par contre, ces équations sont d'une moins grande efficacité pratique pour le calcul, si les teneurs en nutriments digestibles déterminées *in vivo* ne sont pas disponibles. Plusieurs méthodes d'estimation de ces teneurs en nutriments digestibles sont possibles (pour plus de détail, voir Maertens et al., 1988) :

- utilisation des coefficients de digestibilité (CUD) moyens appliqués aux apports alimentaires de protéines, lipides, cellulose brute et extractif non azoté,
- utilisation des compositions extraites des tables alimentaires et des CUD correspondants pour chaque matière première,
- analyse chimique de chaque ingrédient et application des CUD correspondants.

La précision des deux premières méthodes est particulièrement critiquable (Maertens et al., 1988) et toutes trois dépendent de la fiabilité des CUD utilisés.

b) Basé sur les valeurs tabulaires d'EDa des matières premières.

La méthode de prévision de la teneur en EDa d'un aliment, employée le plus souvent, est l'addition des teneurs en EDa des matières premières, corrigée par leur taux d'incorporation. Différentes tables sont disponibles (Van Schoubroeck & Cloet, 1968 ; Schlolaut, 1984 ; Finzi, 1986 ; Cheeke, 1987). Les données contenues dans ces tables sont principalement basées sur les mêmes expérimentations qui ont été publiées il y a plus de 20 à 30 ans. Dans certains cas, en l'absence de données expérimentales, un simple calcul, basé sur la teneur en cellulose brute a été employé (NRC, 1977). Dans d'autres cas, la table est un mélange de données expérimentales récentes et anciennes compilées (INRA, 1984). En raison des changements dans les méthodes d'alimentation, d'un nombre parfois insuffisant de lapins dans les déterminations, ou d'une méthodologie éventuellement inadaptée, ces données sont souvent critiquées. C'est pourquoi des efforts de recherches ont été réalisés dans différents pays, pour estimer la valeur énergétique des matières premières employées dans l'alimentation d'aujourd'hui. On peut mentionner les résultats expérimentaux récents suivants : Fekete & Gippert, 1986 (19

4 • CALCULATION OF THE DIETARY ADE CONTENT

a) Based on the digestible energy-providing nutrients.

Multiple linear regression equations were developed, based on the digestible energy-providing nutrients, to calculate the dietary ADE content (Nehring et al., 1963 ; Maertens et al., 1987). If the *in vivo* digestibility components are available, the dietary ADE content can be calculated with a high accuracy. The deviation from the determined value is < 1 % (Fekete & Papp, 1981 ; Maertens & de Groot, 1981).

However, the practical usefulness of such equations to predict (or to calculate) dietary ADE content is rather low if the *in vivo* digestible nutrients are not available. Different possibilities can be used to calculate these digestible energy-providing nutrients (for details see Maertens & al., 1988) :

- using mean digestibility coefficients (DCF) applied to the dietary protein, fat, fiber and NFE
- using the ingredient table-composition and the respective DCF
- using the analytical composition of each ingredient and the respective DCF.

The accuracy of the first two methods is doubtful (Maertens et al., 1988) ; and for a large part, all of them are dependent if reliable DCF are available.

b) Based on the individual table-values of the feedstuffs

The most applied method to estimate the dietary ADE content is by adding the ADE values of the ingredients, taking into account their application level. A lot of tables are available (Van Schoubroeck & Cloet, 1968 ; Schlolaut, 1984 ; Finzi, 1986 ; Cheeke, 1987). The data of these summarising tables are mainly based on the same experiments which took place more than 20 or 30 years ago. In some cases, when no experimental data were available, the ADE was calculated from the fiber content of the ingredient (NRC, 1977). In other cases, the table is a mixture of old and new data (INRA, 1984). Because of changed feeding methods of a possible insufficient number of rabbits used or unreliable methodology, the usefulness of these tables for dietary ADE evaluation can be questioned. For these reason efforts have been done in different countries to obtain more reliable values for actually used raw materials. The following experimental data were published recently : Fekete & Gippert, 1986 (19 feedstuffs), Roharjo et al., 1986 (19 tropical forages) and Maertens et al., 1987 (40 feedstuffs). Further for a smaller number of feedstuffs data are available in French, Italian or Spanish literature.

Criticism :

• The ADE content of feedstuffs is strongly divergent according to the authors. As an example, the published data for alfalfa meal ADE content (quite same composition) vary from 7.1 to 11.3 MJ/kg DM (Lebas, 1987). Reasons could be : the methodology, the divergent composition of some feedstuffs and trials limited to one batch. Therefore it seems that each table bears the "stamp" of the laboratory. As a consequence for practical use, it is better to work actually with one table than with mix tables. In this last case an incorrect mutual energy evaluation of the feedstuffs may be performed. Some feedstuffs will then be systematically over- or underestimated.

• When using table values to calculate the dietary ADE content it is assumed that :

1. Interactions between ingredients do not occur.
2. The ADE content of a feedstuff is not affected by the inclusion level.

These suppositions are at the basis of all formulas computerizing in the feed stuffs industry.

Research, mainly carried out with poultry, has clearly demonstrated that when using fats or high fat containing feedstuffs these assumptions do not always agree with reality. Unsaturated fat improves the digestion and the absorption of an added saturated fat. But even the transit time in the digestive tract can be changed. Consequently the digestion of other components is influenced. These effects are known as synergism (de Groote et al., 1987). Recently interactions between the fibre components have been demonstrated with rabbits (Gidenne et al., 1987 ; Gidenne, 1987).

Furthermore, sufficient experimental evidence exists indicating that the fat inclusion level influences the energy value. This effect has also been demonstrated with rabbits (Maertens et al., 1986). Multi-level assays followed by the calculation of marginal energy values for each added percentage leads to a more accurate energy evaluation, possibly resulting in cheaper diets.

• Adjustment to the feedstuffs' composition is necessary, because the table composition do not always agree with the real chemical composition or with the computer matrix. Two methods are available to correct to the applied quality (Maertens et al., 1988) :

1. Making use of the DCF of the concerned feedstuff and a regression equation based on the digestible energy-providing nutrients

2. Using a regression equation for each feedstuff based on the chemical analysis e.g. alfalfa meal, Maertens et al., 1988 :

$$y = 8.47 + 0.237 CP - 0.148 CF$$

$y = \text{ADE content (MJ/kg d.m.)}$ $R^2 = 0,76$ and $n = 10$
CP, CF : Crude Protein, Crude Fiber (% d.m.)

• It has to be emphasised that calculation of the ADE content, based on table values, is possible only when the dietary ingredient composition is known (open formulation).

matières premières) ; Raharjo et al., 1986 (19 fourrages tropicaux) et Maertens et al., 1987 (40 matières premières). D'autres données sont disponibles dans la littérature française, italienne ou espagnole, pour des plus petites séries de matières premières.

Critiques de cette méthodologie

• Les teneurs en EDa peuvent varier de manière considérable entre auteurs. Par exemple, pour des luzernes de composition proche, les teneurs en EDa proposées vont de 7,1 à 11,3 MJ/kg MS (Lebas, 1987). Les raisons de ces écarts peuvent être : la méthodologie, des compositions différentes de produits étudiés, des essais limités à un seul lot de matières premières. C'est pourquoi, il semble que chacune des tables porte la "marque de fabrique" du laboratoire dont elle est issue. En pratique, il est donc préférable de travailler avec une table unique, plutôt qu'avec des mélanges de tables. Dans ce dernier cas, des erreurs similaires peuvent avoir été réalisées dans plusieurs tables et conduire à une sur- ou à une sous-estimation, des teneurs en EDa de certains ingrédients.

• Lors de l'utilisation des tables pour effectuer le calcul de la teneur en EDa de la ration, il est supposé que :

1. Il n'y a pas d'interaction entre matières premières.
2. Les teneurs en EDa des matières premières sont indépendantes du taux d'incorporation.

Ces hypothèses sont celles de la formulation de tous les industriels de l'alimentation du bétail.

Des travaux de recherches récents, conduits en particulier chez la volaille, ont clairement démontré, que lors de l'addition de matières grasses ou de matières premières riches en lipides, ces suppositions s'avèrent inexactes. Les lipides insaturés favorisent la digestion et l'absorption des lipides saturés ajoutés. Le temps de transit digestif peut également être modifié, ce qui change à son tour la digestibilité des autres composants. Ces effets sont connus sous le nom de synergie (de Groote et al., 1987). Des interactions de ce type ont été récemment démontrées chez le lapin pour les fibres (Gidenne et al., 1987 ; Gidenne 1987).

En outre, plusieurs expérimentations existent, indiquant l'existence d'un effet des matières grasses ajoutées sur la valorisation énergétique de l'aliment. Ces effets ont été démontrés également chez le lapin (Maertens et al., 1986). Des essais conduits avec des taux multiples d'incorporation, suivis du calcul de l'effet énergétique marginal pour chaque point de graisse ajouté, conduisent à une meilleure évaluation énergétique, et peut être, peuvent permettre la formulation d'aliments moins onéreux.

• Une correction des valeurs tabulaires en fonction des valeurs réelles de composition chimique des lots de matières premières employés est nécessaire, car les valeurs réelles ne sont pas toujours conformes à celles des tables ou à la matrice de données entrée dans l'ordinateur. Deux méthodes peuvent être utilisées pour corriger les teneurs en EDa en fonction des caractéristiques propres d'une matière première (Maertens et al., 1988) :

1. Utiliser les CUD de chaque matière première et une équation de régression basée sur les nutriments digestibles fournisseurs d'énergie.

2. Utiliser une équation de régression pour chaque matière première, basée sur sa propre composition chimique, du type de celle proposée par Maertens et al., (1988) pour le cas de la luzerne :

$$EDa \text{ (MJ/kg MS)} = 8,47 + 0,237 \text{ PB (\% MS)} - 0,148 \text{ CB (\% MS)} \quad (R^2 = 0,76 \text{ et } n = 10).$$

• Il faut également souligner que le calcul de l'EDa, basé sur des valeurs tabulaires, n'est possible que si les proportions des ingrédients composant l'aliment sont connues (formules ouvertes).

5 • PREDICTION DE LA TENEUR DES ALIMENTS EN EDa BASEE SUR DES ANALYSES CHIMIQUES.

Des efforts ont été réalisés pour toutes les espèces, de manière à tenter de prévoir la valeur énergétique d'un aliment dont on ne connaît pas la formule. Des relations fiables sont recherchées entre certains paramètres chimiques et la teneur de l'aliment en EDa, sous la forme d'équation de régression multiple. Les conditions pour obtenir des équations pratiques sont :

- Une grande précision (valeur de F, R² élevés, écart type faible).
- L'usage d'un petit nombre de dosages.
- Un coût faible et une bonne reproductivité de ces dosages.
- Autant que faire se peut, l'absence de liaisons significatives entre les variables "indépendantes" ; mais dans la réalité certains paramètres chimiques sont hautement corrélés (par exemple : lipides et énergie brute).

De nombreux auteurs insistent sur la liaison négative existant entre l'apport de constituants membranaires (dosés selon la méthode de Weende ou celle de Van Soest), et la teneur en énergie digestible (Jentsch et al., 1963 ; Parigi-Bini & Dalle Rive, 1977 ; Battaglini & Grandi, 1984 ; de Blas et al., 1984 ; Corino, 1987 ;...). Ceci est une évidence première en raison de la faible digestibilité des constituants membranaires chez le lapin. Mais aucune des équations proposées ne peut expliquer plus de 75 % de la variabilité des teneurs en EDa observées. Quand des matières premières riches en constituants membranaires hautement digestibles sont incluses dans les aliments, la précision est encore plus faible (de Blas et al., 1984 ; Maertens et al., 1988). La teneur en ADF (Van Soest) n'est pas un meilleur estimateur que la cellulose brute (Weende) (Maertens et al., 1988). Ceci n'est pas surprenant en raison de la corrélation hautement significative existant entre ces 2 paramètres analytiques (Pagano-Toscano et al., 1986 ; Maertens et al., 1988).

Avec 2 paramètres analytiques, un R² au maximum de 0,85 peut être atteint, selon différents auteurs, en utilisant les constituants membranaires et l'énergie brute comme variables indépendantes (de Blas et al., 1984 ; Battaglini & Grandi, 1984 ; Corino, 1987 ; Maertens et al., 1988). Malheureusement la détermination de la teneur en énergie brute n'est possible que dans un trop petit nombre de laboratoires. D'autres régressions utilisant 2 déterminations ont été proposées, mais elles ne sont pas

5 • PREDICTION OF THE DIETARY ADE CONTENT BASED ON THE CHEMICAL ANALYSIS

Efforts have been made for all species to predict the energy content when the ingredient composition is unknown. Reliable relationships are searched between certain chemical parameters and the dietary ADE content expressed in multiple regression equations.

Conditions for useful equations are :

- A high accuracy (F-value ; high R² and small *rsd*).
- With a minimum of chemical parameters.
- Low cost and reproductibility of the chemical analyses.
- Significant relationships between the "independent" variables may not exist, but in reality certain chemical characteristics are highly correlated (e.g. fat and GE).

Numerous authors stress the negative relationship between dietary fibre components (Weende or Van Soest) and the digestible energy content (Jentsch et al., 1963, Parigi Bini & Dalle Rive, 1977 ; Battaglini & Grandi, 1984 ; de Blas et al., 1984, Corino, 1987 ;...). This is rather self-evident because of the low fibre digestibility in rabbits. But none of these relationships explains more than 75 % of the observed variation in ADE content. When diets with "high-digestibility" fiber are included, the accuracy is even much lower (de Blas et al., 1984 ; Maertens et al., 1988). ADF is not a better single estimate than crude fibre (Maertens et al., 1988). This is not surprising because of the highly significant correlation between both (Pagano Toscano et al., 1986 ; Maertens et al., 1988).

Depending of the author an R² of maximum 0,85 is reached, with fibre components and the gross energy as independent variables (de Blas et al., 1984 ; Battaglini & Grandi, 1984 ; Corino, 1987 ; Maertens et al., 1988). But the determination of the gross energy is possible only in a limited number of laboratories. Other regressions with two parameters, but not more accurate, were also suggested (Fekete & Gippert, 1986 ; Maertens et al., 1988).

Best fits with 3 or more chemical data explains already 90 % of the observed variation in ADE content (Maertens et al., 1988). This is still significantly lower than the equations proposed for other species (poultry, pigs). Data of different laboratories have to be combined or other chemical parameters taken into account to increase the accuracy of these equations. A more accurate analysis of the fibre fraction as proposed by Theander & Aman (1981) has to be searched.

In addition, it is important to take care to the types of parameters retained for the equation. Effectively, many producers and official authorities, consider the utilization of such an equation as a method to post-control the ADE level of commercial feeds. It is necessary that, the utilization of the equation before the formulation makes impos-

sible a distortion between the ADE obtained after calculation according to the "official" equation and the true value obtained with rabbits. Such a danger remains possible if e.g., crude energy or lipids are not included among the parameters : any variation of the added fat level cannot be taken in account. From an experimental point of view, this is the problem of the diet's matrix employed for the construction of the official equation.

6 • IN VITRO TECHNIQUES TO ESTIMATE THE ENERGY CONTENT

Limited research work is available concerning the energetic evaluation of rabbits diets using *in vitro* technics which simulate digestive processes. Although recently, both for poultry as for pigs and cattle, enzymatic methods are searched on their usefulness to estimate the energy content. Results are encouraging, especially with cellulase (de Boever et al., 1986). Future research is necessary to evaluate these methods as predictors of the energy content of rabbit diets and feedstuffs.

A second *in vitro* technic, well known for ruminants, makes use of rumen fluid to simulate the digestive process (Tilley & Terry, 1963). Recently a modified method for rabbit diets has been published (Scholtyssek & Seim, 1988). With the values of the *in vitro* production of the caecum bacteria and the dietary chemical composition (protein and fibre) multiple regression equations were established to predict the ADE content. Best fits explained more than 90 % of the variation in ADE content of the 8 tested diets. Because of the limited number of diets, the usefulness and the accuracy of this method has to be confirmed.

RECOMMENDATION

Already more than 10 years ago, the "joule" is internationally recognized as the only official energy unit. Efforts have to be done to replace further the calorie as well in research as in practice.

It may be important to remind that 1 joule is the quantity of energy (W) obtained after action of an electric current of 1 ampere intensity (i) during a time (t) of 1 second, through a 1 ohm resistance (R), according to the formula $W = R i^2 t$. Because of the coherence of MKSA system, 1 joule is also the work (energy) obtained when the point of application of a 1 newton force (1 kg accelerated at 1 meter/second) moves of 1 meter in the direction of the force.

aussi précises (Fekete & Gippert, 1986 ; Maertens et al., 1988).

Les meilleurs ajustements utilisant 3 paramètres ou plus, expliquent environ 90 % de la variabilité des teneurs en EDa observées (Maertens et al., 1988). Ceci est encore significativement inférieur à la pertinence des équations proposées pour les autres espèces (porcs, volailles). Il conviendra donc de combiner les résultats de différents laboratoires ou de proposer des équations incluant d'autres paramètres chimiques pour améliorer la précision de ces équations. Une analyse plus fine des constituants membranaires peut être recherchée comme cela est proposée par Theander & Aman (1981).

En tout état de cause, il faut faire très attention à la nature des paramètres retenus. En effet, les éleveurs et les pouvoirs publics, voient dans l'usage de telles équations, un moyen de contrôle a posteriori la teneur en EDa des aliments commerciaux. Il ne faudrait pas que l'usage préalable de l'équation lors de la formulation puisse entraîner une distorsion entre l'EDa calculée selon une équation "officielle" et celle mesurée avec des lapins. Par exemple, une équation qui ne comprendrait pas une mesure de l'énergie brute ou de la teneur en lipides, serait aisément contournée par une variation du taux d'incorporation des matières grasses. Au plan expérimental, cela pose le problème de la matrice des formules alimentaires, utilisée pour l'établissement de l'équation de référence.

6• LES METHODES D'ESTIMATION IN VITRO DE LA TENEUR EN ENERGIE.

Il n'existe dans la littérature qu'un petit nombre de travaux consacrés, dans le cas du lapin, à l'estimation de la teneur en EDa à l'aide de méthodes *in vitro* simulant les processus digestifs. Toutefois, au cours des dernières années, des méthodes enzymatiques ont été étudiées en vue de l'estimation de la teneur en énergie pour les volailles, les porcs ou les bovins. Les résultats sont encourageants, particulièrement dans le cas de la cellulose (De Boever et al., 1986). D'autres travaux seront nécessaires pour estimer la fiabilité de ces méthodes comme prédicteurs de la valeur énergétique des aliments et des matières premières destinés aux lapins.

Un deuxième groupe de technique *in vitro*, bien connu dans le cas des ruminants, utilise le jus de rumen pour stimuler les processus digestifs (Tilley & Terry, 1963). Récemment, une technique modifiée pour le lapin a été publiée (Scholtyssek & Seim, 1988). La production de gaz *in vitro* par des bactéries du caecum, combinée avec des analyses chimiques (protéines et cellulose) dans des équations de régression multiples, permet de prévoir la teneur en EDa des 8 aliments expérimentés. Mais en raison du très petit nombre d'aliments expérimentaux employés, l'efficacité et la précision de cette méthode doivent être confirmées.

RECOMMANDATION

Depuis déjà plus de 10 ans le "joule" est reconnu au plan international comme la seule unité officielle pour la mesure de l'énergie. Des efforts doivent être faits pour remplacer définitivement la calorie par le joule tant pour les publications scientifiques que dans la pratique.

Il nous paraît important de rappeler que 1 joule est la quantité d'énergie (w) libérée par le passage d'un courant électrique d'une intensité (i) de 1 ampère pendant un temps (t) de 1 seconde dans une résistance (R) de 1 ohm, selon la formule $w = Ri^2t$. En raison de la cohérence du système MKSA, 1 joule est aussi égal au travail (énergie) fourni par une force de 1 Newton (soit 1 kg accéléré de 1 mètre par seconde) dont le point d'application se déplace de 1 mètre dans la direction de la force.

De son côté, 1 calorie était la quantité de chaleur (énergie) nécessaire pour élever de 1 degré centigrade la température d'une masse d'eau de 1 gramme sous pression atmosphérique normale. Cette valeur dépendait des conditions opératoires et, par exemple, la quantité réelle d'énergie était un peu différente selon que l'élévation s'effectuait à partir de 15°C ou de 20°C. De manière très générale, on admet que 1 joule = 0,239 calorie et que, à l'inverse, 1 calorie = 4,184 joules.

CONCLUSIONS

L'énergie alimentaire disponible pour les lapins est influencée par de nombreux facteurs, les principaux étant la composition de l'aliment, la variabilité individuelle, le niveau d'alimentation et le stade physiologique. Parce que chaque détermination est une approximation d'une valeur très complexe, les questions de méthodologie sont d'une importance fondamentale. L'usage d'estimations précises est extrêmement important pour permettre de couvrir les besoins alimentaires, pour formuler des aliments à moindre coût et pour interpréter les expériences nutritionnelles.

Bien que des progrès importants aient été réalisés au cours des dernières années dans l'estimation de la valeur énergétique des aliments et des matières premières, des travaux sont encore nécessaires, tout particulièrement pour les points suivants :

- L'estimation précise de la valeur des matières premières.
- Les relations avec la composition chimique.
- Le développement de technique **in vitro**, applicables à la détermination de la teneur en EDa des aliments et des matières premières.

In other hand, 1 calorie was the quantity of heat (energy) necessary to increase by 1 centigrade degree, a 1 gramm mass of water under normal pressure. This value was dependant of the operating conditions, e.g. the true quantity of energy necessary is slightly different if the initial temperature is 15°C or 20°C. Usually it is assumed that 1 joule = 0,239 calorie and conversely 1 calorie = 4,184 joules.

CONCLUSIONS

The available dietary energy is influenced by several factors, the most important being the diet composition, the individual variability, feeding level and physiological state. Because each evaluation is always an approximation of a very complex value, methodology questions are of fundamental importance. The accuracy of the estimation is extremely important to satisfy nutrient requirements, to formulate least-cost diets and to interpret nutrition experiments.

Although during last years significant progress has been made in the energetic evaluation of feeds and feedstuffs for rabbits, future research is necessary on different levels :

- *An accurate evaluation of the raw materials.*
- *Relationships with chemical data.*
- *Further developpment of **in vitro** technics to be applied on rabbit's feeds and feedstuffs.*

Reçu pour publication en Novembre 1988
Accepté en Septembre 1989

BIBLIOGRAPHIE

- BATTAGLINI M., GRANDI A., 1984. Stima del valore nutritivo dei mangimi composti per conigli. Proc. 3rd World Rabbit Congress, Rome. **Vol. 1**, 252-264.
- BALOGUN O.O., 1984. Energy values in the nutrition of rabbits. World Rev. Anim. Prod., **20** (3), 39-43.
- BELTRAN M.T., MARTINEZ J., FERNANDEZ J., CERVERA C., 1984. Estimacion del valor nutritivo de diversas materias primas para conejos. Proc. 3rd World Rabbit Congress, Rome. **Vol. 1**, 265-272.
- BOMBEKE A., OKERMAN F., MOERMANS R., 1978. L'influence de la granulation à sec et à la vapeur de rations à teneurs différentes en énergie sur les résultats de production des lapins de chair. Rev. Agric., **31**, 947-957.
- CHEEKE P.R., 1987. Rabbit Feeding and Nutrition, 376 p. Academic Press, San Diego.
- COLIN M., LEBAS F., 1976. Méthodes d'étude de la digestibilité des aliments chez le lapin. II. Périodicité des récoltes. Sci. Techn. Anim. Lab., **1**, 129-133.
- CORINO C., 1987. Alcune considerazioni sulla stima del valore nutritivo dei mangimi composti integrati utilizzati nell'alimentazione del coniglio. Conigliocultura, **24** (9), 41-44.
- DE BAS J.C., RODRIQUEZ J.M., SANTOMA G., FRAGA M.J., 1984. The nutritive value of feeds for growing rabbits. J. Appl. Rabbit Res., **7**, 72-74.
- DE BOEVER J.L., COTTYN B.G., BUYASSE F.X., WAIMAN F.W., VANACKER J.M., 1986. The use of an enzymatic technique to predict digestibility, metabolizable and net energy of compound feedstuffs for ruminants. Anim. Feed Sci. Technol., **14**, 203-214.
- DE GROOTE G., KETELS E., HUYGHEBAERT G., 1987. The energy evaluation of fats in poultry diets: new developments. Proc. 6th Eur. Sympos. Poultry Nutr., Koningslutter (BRD), **Vol. C**, 21-30.
- DEHALLE C., 1981. Equilibre entre les apports azotés et énergétiques dans l'alimentation du lapin en croissance. Ann. Zootech., **30**, 197-208.
- DUCHENNE T., 1980. Contribution à la méthodologie d'étude de la digestibilité chez le lapin en croissance à partir de la composition de différentes luzernes déshydratées. Mémoire de fin d'étude de l'Esitpa. 86 p.
- EVANS E., 1982. An analysis of digestible energy utilization by growing rabbits. J. Appl. Rabbit Res., **5**, 89-91.
- FEKETE S., PAPP S., 1981. Examination of digestible and metabolizable energy content of rabbit feeds (in Hung.). Allattenyészítés és Takarmanyozás, **30**, 365-370.
- FEKETE S., GIPPERT T., 1981. Studies on the effect of different restricted rations in broiler rabbits (in Hung.). Magyar Allatorvosok Lapja, **36**, 121-136.
- FEKETE S., BOKORI J., 1984. The effect of the fibre and protein level of the ration upon the caecotrophy of the rabbit. J. Appl. Rabbit Res., **8**, 68-71.
- FEKETE S., GIPPERT T., 1986. Digestibility and nutritive value of nineteen important feedstuffs for rabbits. J. Appl. Rabbit Res., **9**, 103-108.
- FINZI A., GUALTERIA L., 1986. Feed resources and estimation of their value for rabbit nutrition. Proc. 4th World Congress on Animal Feeding, Madrid, **Vol. 9**, 239-253.
- GIDENNE T., BOUYSSOU T., 1987. Mise au point d'une fistule iléale chez le lapin adulte. Caractérisation des digesta prélevés. Reprod. Nutr. Développ., **27**, 289-290.
- GIDENNE T., PONCET C., GOMEZ L., 1987. Effet de l'addition d'un concentré riche en fibres dans une ration à base de foin, distribuée à deux niveaux alimentaires chez les lapins adultes. 1. Temps de séjour moyen des aliments. Reprod. Nutr. Dévelop., **27**, 733-743.
- GIDENNE T., 1987. Effet de l'addition d'un concentré riche en fibres dans une ration à base de foin, distribuée à deux niveaux alimentaires chez les lapins adultes. 2. Mesures de digestibilité. Reprod. Nutr. Dévelop., **27**, 801-810.
- GIOFFRE F., PASSARI M., ROSELLI A., PROTO V., 1985. La variabilità della digeribilità nel coniglio ed i fattori che l'influenzano. Conigliocultura, **22** (5), 41-47.
- GROBNER M.A., ROBINSON K.L., CHEEKE P.R., PATTON N.M., 1985. Utilization of low and high energy diets by dwarf (Netherland Dwarf), intermediate (Mini Lop, New Zealand White) and giant (Flemish Giant) breeds of rabbits. J. Applied Rabbit Res., **8**, 12-18.
- HULLAR I., GIPPERT T., 1986. Die Bedeutung des Geschlechts und der Rasse für die Untersuchung des Verdaulichkeitskoeffizienten entsprechend dem Alter bei 6-12 Wochen alten Fleischkaninchen. Proc. 3rd Intern. Colloquy, Rostock. Section II, 71-76.
- HULLAR I., LASZA-SZABO S., 1988. Effect of pregnancy and lactation on the digestibility of nutrients in rabbits. Proc. 4th World Rabbit Congress, Budapest. Vol. Nutr. & Pathol., 59-68.
- JENTSCH W., SCHIEMANN L., HOFMANN L., NEHRING K., 1963. Die energetische Verwertung der Futtersoffe. 2. Die energetische Verwertung der Kraftfutterstoffe durch Kaninchen. Arch. Tierernähr., **13**, 133-145.
- INGALLS J.R., THOMAS M.B., 1964. Comparison of responses to various forages by sheep, rabbits and heifers. J. Anim. Sci., **24**, 1165-1168.
- INRA, 1984. L'alimentation des animaux monogastriques. Alimentation des lapins, F. LEBAS, 77-84. Ed. INRA, Paris.
- LEBAS F., 1973. Variation, chez le lapin, des coefficients d'utilisation digestive de la matière sèche, de la matière organique et de l'azote en fonction de l'âge, de la race et du sexe. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys., **13**, 767-768 (Abstract).
- LEBAS F., 1975. Influence de la teneur en énergie de l'aliment sur les performances de croissance chez le lapin. Ann. Zootech., **24**, 281-288.
- LEBAS F., COLIN M., 1976. Méthodes d'études de la digestibilité des aliments chez le lapin. I. Durée des périodes de collectes. Sci. Techn. Anim. Lab., **1**, 129-133.
- LEBAS F., 1979. Efficacité de la digestion chez la lapine adulte. Effets du niveau d'alimentation et du stade de gestation. Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys., **19**, 969-973.
- LEBAS F., CHERIET S., 1981. Utilisation digestive de 3 sources de lest chez le lapin en croissance. Cuniculture, **8**, (4), 190-194.
- LEBAS F., LAPLACE J.P., DROUMENQ P., 1982. Effets de la teneur en énergie de l'aliment chez le lapin. Variations en fonction de l'âge des animaux et de la séquence des régimes alimentaires. Ann. Zootech., **31**, 233-256.
- LEBAS F., 1987. La luzerne déshydratée et le lapin. Cuni-Sciences, **4**, 11-22.
- LEDIN I., 1984. Effect of restricted feeding and realimentation on compensatory growth, carcass composition and organ growth in rabbit. Ann. Zootech., **33**, 33-50.

- MAERTENS L., DE GROOTE G., 1981. L'énergie digestible de la farine de luzerne déterminée par des essais de digestibilité avec des lapins de chair. *Rev. Agric.*, **34**, 79-92.
- MAERTENS L., DE GROOTE G., 1982. Etude de la variabilité des coefficients de digestibilité des lapins suite aux différences d'âge de sexe, de race et d'origine. *Rev. Agric.*, **35**, 2747-2757.
- MAERTENS L., 1983. Unpublished observations.
- MAERTENS L., DE GROOTE G., 1984. Digestibility and digestible energy content of a number of feedstuffs for rabbits. *Proc. 3rd World Rabbit Congress, Rome*, **Vol. 1**, 244-251.
- MAERTENS L., HUYGHEBAERT G., DE GROOTE G., 1986. Digestibility and digestible energy content of various fats for growing rabbits. *Cuni-Sciences*, **3**, 7-14.
- MAERTENS L., DE GROOTE G., 1987. Quelques caractéristiques spécifiques de l'alimentation du lapin. *Rev. Agric.*, **40**, 1185-1205.
- MAERTENS L., MOERMANS R., DE GROOTE G., 1987. Estimation de la teneur en énergie des aliments pour lapins. *Rev. Agric.*, **40**, 1205-1217.
- MAERTENS L., MOERMANS R., DE GROOTE G., 1988. Prediction of the apparent digestible energy content of commercial pelleted feeds for rabbits. *J. Appl. Rabbit Res.*, **11**, 60-67.
- MAERTENS L., PARIGI-BINI R., 1988. Valuazione energetica degli alimenti per conigli, un esame critico. *Coniglicoltura*, **25** (7), 15-21.
- MAERTENS L., 1988. Unpublished observations.
- MARTINEZ-PASCUAL J., FERNADEZ-CARMONA J., 1980. Composition, valor nutritivo y relaciones entre ambos de diversos piensos para conejos. *II World Rabbit Congress, Barcelone*. Vol. II, 214-224.
- NEHRING K., HOFFMANN L., SCHIEMANN R., JENTSCH W., 1963. Die energetische Verwertung der Futterstoffe. 6. Mitteilung. Die energetische Verwertung der Kraftfutterstoffe durch Rindes, Schafe, Kaninchen, Schweine und Ratten. *Arch. Tierernähr.*, **13**, 193-213.
- N.R.C., 1977. Nutrient Requirement of Domestic Animals. N° 9 : Nutrient Requirements of Rabbits. NAS, Washington D.C.
- PAGANO TOSCANO G., BENATTI G., ZOCCARATO I., 1986. Comparison of crude fibre and the Van Soest detergent methods for fibre determination in rabbit feeds. *J. Appl. Rabbit Res.*, **9**, 69-75.
- PARIGI-BINI R., CESSSELLI P., 1976. Estimate of energy excreted in urine by growing rabbits. *Mem. 1^{er} Congr. Int. Cunicole, Dijon (France)*, Comm. n° 20.
- PARIGI-BINI R., DALLE RIVE V., 1977. Methodi di stima del valore nutritivo dei mangimi concentrati per conigli in accrescimento. *Coniglicoltura*, **14** (2), 33-40.
- PROTO V., 1964. Studio preliminare sulla variabilità della digestibilità nel coniglio in accrescimento. *Prod. Anim.*, **3**, 331-336.
- PARTRIDGE G.G., 1986. Meeting the protein and energy requirements of the commercial rabbit for growth and reproduction. *Proc. 4th World Congress on Anim. Feeding, Madrid*. **Vol. IX**, 271-277.
- RAHARJO Y., CHEEKE P.R., PATTON N.M., SUPRIYATI K., 1987. Evaluation of tropical forages and by-products feeds for rabbit production. *J. Appl. Rabbit Res.*, **9**, 56-66.
- SCHOLTYSSEK S., SEIM S., 1988. Die energetische Bewertung von Kaninchenfutter mit Hilfe eines in vitro-Testes. *Arch. Geflügelk.*, **52**, 103-111.
- SCHLOLAUT W., 1984. *Kompendium der Kaninchenproduction*, 251 p. Eschborn (BRD). Ed Tz-Verlagsgesellschaft mbH, Rosdorf.
- SPREADBURY D., DAVIDSON J., 1978. A study of the need for fibre by the growing New Zealand White rabbit. *J. Sci. Fd. Agric.*, **29**, 640-648.
- THEANDER O., AMAN P., 1981. "The Analysis of Dietary Fibre in Food". James W.P.T., Theander O., Eds Marcel Dekker, New York, **chapter 5**, 51-70.
- TILLEY J.M.A., TERRY R.A., 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Br. Grassl. Soc.*, **18**, 104-111.
- VANSCHOU BROECK F., CLOET G., 1968. The feeding value of concentrates in the rabbit. *World Rev. Anim. Prod.*, **16**, 70-76.
- WISEMAN J., 1984. Assessment of the digestible and metabolizable energy of fats for non-ruminants. In : "Fats in Animal Nutrition". Ed. by J. Wiseman. Butterworths, London, p. 277-297.
- XICCATO G., CINETTO M., 1988. Effect of nutritive level and of age on feed digestibility and nitrogen balance in rabbit. *Proc. 4th World Rabbit Congress, Budapest*. Vol. Nutr. & Patholog., 96-104.