

# Estimation de la digestibilité des protéines et de la teneur en énergie digestible des matières premières pour le lapin, avec un système d'équations

F. LEBAS

Association Cuniculture, 87A Chemin de Lasserre, Corronsac, France

**Résumé.** En utilisant les valeurs tabulaires de la base de données Feedipedia, des équations ont été calculées par régression multiple progressive pour estimer la teneur en énergie digestible et la digestibilité des protéines de 40 matières premières alimentaires chez le Lapin. Ces équations font appel à la teneur en protéines brutes (MAT), cellulose brute (CB) NDF, ADF, ADL selon Van Soest, extrait étheré (EE) et minéraux totaux (MX) des matières premières (en % de la MS) ainsi qu'aux valeurs nutritives homologues pour les Ruminants et le Porc en croissance. L'inclusion de ces dernières donne les estimations les plus précises (ED±1.19MJ/kg; CUD-N ±6,08 points), mais elles ne sont pas toujours disponibles. Sur la base des seules analyses chimiques, les deux meilleures équations sont :  
ED-Lap = 15,627 + 0,000982 MAT<sup>2</sup> + 0,0040 EE<sup>2</sup> - 0,0114 MX<sup>2</sup> - 0,169 ADF ± 1,250 MJ/kgMS ( R<sup>2</sup> = 0,912 )  
CUD-N Lap = 64,734 + 0,646 MAT + 2,170 CB + 0,414 NDF - 2,894 ADF ± 9,338 % ( R<sup>2</sup> = 0,825 )

**Abstract. Estimation of protein digestibility and digestible energy content of raw materials for the rabbit, with a system of equations.** Using tabular values available in Feedipedia basis, equations were calculated by progressive multiple regression to estimate the digestible energy content and protein digestibility of 40 raw feeds in the rabbit. These equations involve the crude protein (CP), crude fiber (CF) NDF, ADF, ADL according to Van Soest, ether extract (EE) and total minerals (MX) content of raw materials (in % of DM) and similar nutritional values for ruminants and growing pig. The inclusion of the latter gives the most accurate estimates (DE±1.19MJ/kg; N-Dig±6.08points), but they are not always available. On the basis of chemical analysis alone, the top two equations are:

DE-Rab = 15.627 + 0.000982 CP<sup>2</sup> + 0.0040 EE<sup>2</sup> - 0.0114 MX<sup>2</sup> - 0.169 ADF ± 1.250 MJ/kg DM ( R<sup>2</sup> = 0.912 )  
N-Digestibility = 64.734 + 0.646 CP + 2.170 CF + 0.414 NDF - 2.894 ADF ± 9.338 % ( R<sup>2</sup> = 0.825 )

## Introduction

La régulation de l'ingestion chez le lapin se fait principalement en fonction de la concentration énergétique de son alimentation et de l'apport azoté exprimé par le ratio protéines digestibles / énergie digestible (Gidenne *et al.*, 2010). Lors de la formulation d'aliments composés équilibrés pour le Lapin il est donc fait appel à la composition des matières premières disponibles en tenant compte des analyses chimiques réalisées sur les matières premières et de valeurs contenues dans les tables ou bases de données puisque en particulier ni la teneur en énergie digestible, ni la digestibilité des matières premières ne peuvent être déterminées *in vitro* au laboratoire avec fiabilité.

Lors de l'élaboration de la base de données encyclopédique « Feedipedia », ([www.feedipedia.org](http://www.feedipedia.org)) la valeur nutritive des matières premières pour les différentes espèces de rente est incorporée à la base à partir des données de la littérature obtenues *in vivo*. Or il s'avère que souvent aucune donnée n'est disponible pour la valeur nutritive pour le Lapin, ce qui rend difficile la conception d'aliments équilibrés faisant appel à ces matières premières. Différentes équations ont été proposées pour estimer les teneurs en énergie digestible ou en protéines digestibles, mais presque toutes sont basées sur l'étude d'aliments complets, c'est dire pour une gamme de composition très étroite par rapport à celle des matières premières

(Fernandez-Carmona *et al.*, 2004). Seul le travail de Villamide et Fraga (1998) porte sur des matières premières, mais il ne concerne que les protéines.

Nous avons donc cherché à proposer un système d'équation pour estimer la teneur en énergie digestible et la digestibilité des protéines pour le Lapin à partir d'une même base de données, en utilisant classiquement la composition chimique des matières premières, mais aussi les valeurs nutritives déjà mesurées pour d'autres espèces de rente.

## 1 – Matériel et Méthodes

### 1.1 Origine des données

Nous avons utilisé la base de données Feedipedia telle que disponible fin avril 2013, pour les différentes matières premières et pour lesquelles, pour le Lapin, était disponible une valeur d'énergie digestible et si possible une estimation de la digestibilité des protéines. Nous avons relevé la composition chimique classique moyenne pour les protéines brutes (MAT), la cellulose brute (CB méthode de Weende), NDF, ADF, ADL selon la méthode de Van Soest (1963), l'extrait étheré (EE) et les minéraux totaux (MX). Nous avons aussi relevé les valeurs moyennes d'énergie digestible pour le Lapin, les Ruminants et le Porc en croissance, et la digestibilité des protéines pour ces 3 types d'animaux.

Ceci nous a permis d'élaborer une matrice de 40 matières premières couvrant à peu près la gamme complète des types de matières premières disponibles depuis les fourrages peu concentrés jusqu'aux graines oléagineuses en passant par les céréales et la luzerne.

Cette matrice est complète pour les analyses chimiques et la teneur énergie digestible lapin (EDLap). Elle comporte 37 matières premières incluant aussi la digestibilité des protéines (CUDNlap). La teneur en énergie digestible pour les ruminants (EDRum) et le porc en croissance (EDPor) est également disponible pour 31 matières premières et enfin pour 27 matières premières la digestibilité des protéines pour les ruminants (CUDNRum) et le porc en croissance (CUDNPor) est également disponible. Toutes les valeurs sont exprimées par rapport à la matière sèche, en pourcentage pour les analyses chimiques et les CUD-N et en MJoules / kg pour l'énergie digestible. Dans cette matrice, les valeurs tabulaires pour l'énergie digestible chez le lapin varient de 5,3 à 23,3 MJoules/kg et la digestibilité des protéines de 6,4 à 81,9%.

### 1.2 Analyse des données

Des équations permettant d'estimer la teneur en énergie digestible pour le lapin ou la digestibilité des protéines pour cette espèce ont été calculées par régression multiple progressive sous SAS (Confais et Le Guen, 2006). Le modèle utilisé permettait à l'itération suivante de retirer un régresseur antérieurement retenu. Le cas échéant le carré de chacune des données d'analyse chimique a été inclus dans le modèle pour tenir compte d'une possibilité de liaison non linéaire des différents régresseurs (MAT<sup>2</sup>, ADF<sup>2</sup>, ...) avec les deux variables dépendantes (EDLap et CUDNlap). Le seuil de probabilité pour l'addition ou le retrait d'une variable lors de la recherche de la meilleure régression a été P=0,15.

## 2 – Résultats

### 2.1 Estimation de l'EDLap

Une première équation a été obtenue en incluant seulement les teneurs en énergie digestible pour les ruminants et le porc en croissance comme régresseurs (N=31 matières premières). Le résultat est le suivant :

#### Équation 1

$$\begin{aligned} \text{EDLap} = & + 1,557 \quad (P= 0,138) \\ & + 0,314 \text{ EDRum} \quad (P= 0,052) \\ & + 0,540 \text{ EDPor} \quad (P= 0,001) \\ & \pm 1,289 \text{ MJ/kg} \quad R^2 = 0,860 \end{aligned}$$

On peut remarquer que la contribution de la valeur énergétique pour le porc est plus marquée que celle pour les ruminants.

Si dans le modèle on ajoute les analyses chimiques parmi les régresseurs, on obtient le résultat suivant après 4 itérations :

#### Équation 2

$$\begin{aligned} \text{EDLap} = & + 5,861 \quad (P = 0,013) \\ & + 0,273 \text{ EDRum} \quad (P = 0,075) \\ & + 0,308 \text{ EDPor} \quad (P = 0,105) \\ & - 0,067 \text{ ADF} \quad (P = 0,065) \\ & + 0,090 \text{ EE} \quad (P = 0,017) \\ & \pm 1,191 \text{ MJ/kg} \quad R^2 = 0,889 \end{aligned}$$

La prise en compte de la composition analytique permet d'améliorer un peu le niveau de la corrélation et réduit de 8% la variabilité résiduelle.

Si avec cette même matrice de 31 variables on cherche à estimer la teneur en énergie digestible lapin en n'utilisant que les analyses chimiques comme régresseurs, on obtient une valeur très légèrement améliorée pour le R<sup>2</sup> (= 0,898) et une variabilité résiduelle un peu plus faible (± 1,162 MJ/kg).

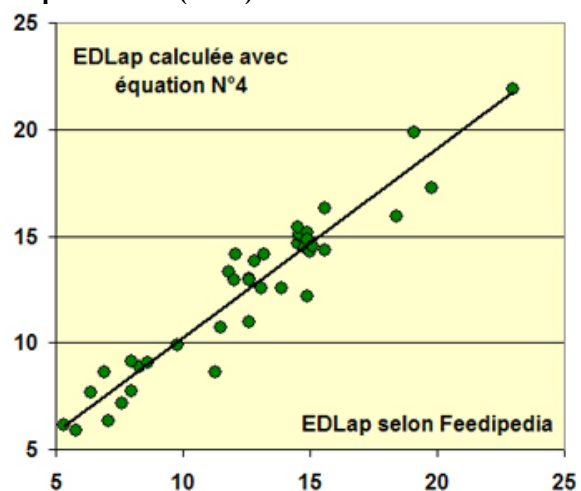
Mais comme nous disposons des valeurs analytiques et la teneur en EDLap sur la matrice complète de 40 matières premières, nous avons fait le calcul en prenant toutes les données disponibles. Le résultat est le suivant après 5 itérations et sans que l'un des régresseurs ait été retiré :

#### Équation 3

$$\begin{aligned} \text{EDLap} = & + 15,768 \quad (P < 0,001) \\ & + 0,052 \text{ MAT} \quad (P = 0,006) \\ & - 0,083 \text{ NDF} \quad (P < 0,001) \\ & - 0,152 \text{ ADL} \quad (P < 0,001) \\ & + 0,198 \text{ EE} \quad (P < 0,001) \\ & - 0,233 \text{ Mx} \quad (P = 0,002) \\ & \pm 1,318 \text{ MJ/kg} \quad R^2 = 0,905 \end{aligned}$$

Par rapport aux équations précédentes incluant la composition chimique, avec 9 données de plus (40 vs 31 matières premières) la corrélation est un peu meilleure (R<sup>2</sup> = 0,905 vs 0,898) °, mais la variabilité résiduelle est aussi un peu plus élevée. Par contre il convient de remarquer que tous les paramètres de l'équation sont hautement significatifs (P < 0,01).

**Figure 1 : Relation entre l'énergie digestible moyenne de Feedipedia et la valeur calculée avec l'équation N°4 (n=40)**



Lorsque le carré des valeurs analytiques est ajouté à la liste des régresseurs potentiels, la corrélation est encore très légèrement améliorée tout en réduisant un peu la variabilité résiduelle ( $\pm 1,250$  MJ/kg) comme l'indiquent les résultats suivants obtenus en 6 itérations

**Équation 4** (figure 1)

$$\begin{aligned} \text{EDLap} = & + 15,627 & (P < 0,001) \\ & + 0,000982 \text{ MAT}^2 & (P < 0,001) \\ & + 0,0040 \text{ EE}^2 & (P < 0,001) \\ & - 0,0114 \text{ MX}^2 & (P = 0,002) \\ & - 0,169 \text{ ADF} & (P < 0,001) \\ & \pm 1,250 \text{ MJ/kg} & R^2 = 0,912 \end{aligned}$$

Il convient de remarquer que le teneur en NDF qui avait été la première variable introduite dans la régression ( $R^2 = 0,684$ ) a été retirée lors de la 5<sup>ème</sup> itération.

**2.2 Estimation de la digestibilité des protéines**

Comme pour l'estimation de la teneur en énergie digestible, nous avons commencé par calculer la liaison pouvant exister avec les valeurs similaires obtenues pour les ruminants et le porc en croissance.

**Équation 5**

$$\begin{aligned} \text{CUDNLap} = & + 16,462 & (P = 0,081) \\ & + 0,330 \text{ CUDNRum} & (P = 0,012) \\ & + 0,467 \text{ CUDNPor} & (P < 0,001) \\ & \pm 6,078 \% & R^2 = 0,679 \end{aligned}$$

L'incorporation de la composition chimique des 27 matières premières dans le modèle fournit la même équation pour l'estimation de la digestibilité de l'azote chez le lapin.

Par contre, en utilisant les 37 matières premières pour lesquelles existe une valeur tabulaire pour la digestibilité des protéines chez le lapin, on obtient une équation ayant un  $R^2$  plus élevé (0,825) mais une précision moins bonne qu'avec le CUD des protéines chez les ruminants et le porc comme régresseurs, ainsi que l'indiquent les résultats ci-après obtenus à l'issue de 6 itérations :

**Équation 6** (figure 2)

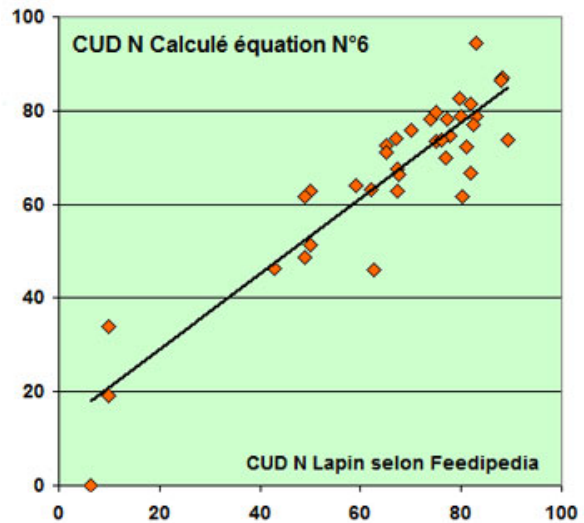
$$\begin{aligned} \text{CUDLap} = & + 64,734 & (P < 0,001) \\ & + 0,646 \text{ MAT} & (P < 0,001) \\ & + 2,170 \text{ CB} & (P < 0,001) \\ & + 0,414 \text{ NDF} & (P = 0,025) \\ & - 2,894 \text{ ADF} & (P < 0,001) \\ & \pm 9,338 \% & R^2 = 0,825 \end{aligned}$$

La teneur des matières premières en lignines (ADL) avait été le premier régresseur introduit dans l'équation prédiction ( $R^2 = 0,637$ ) mais elle a été ensuite retirée lors de la 6<sup>ème</sup> itération. Il nous semble aussi important de souligner que la teneur en cellulose brute, souvent décriée, est entrée lors de la 4<sup>ème</sup> itération et est restée dans l'équation malgré la présence simultanée des teneurs en NDF et ADF.

Lorsque le carré des valeurs analytiques est ajouté à la liste des régresseurs potentiels la corrélation est pratiquement la même ( $R^2 = 0,830$  vs  $0,825$ ) et la

variabilité résiduelle est également similaire (9,356% vs 9,338). Cette équation n'est donc pas présentée.

**Figure 2 : Relation entre le CUD-N moyen de Feedipedia et la valeur calculée avec l'équation N°6 (n=37)**



**3 - Discussion**

**3.1 - Choix des variables utilisées comme régresseurs**

Comme régresseurs potentiellement utiles pour estimer la valeur nutritive des matières premières pour le lapin nous avons d'abord retenu l'analyse fourragère classique en y incluant les teneurs en fibres déterminées selon la méthodologie proposée initialement par Van Soest en 1963. (NDF, ADF et ADL). Ces valeurs sont en effet disponibles dans la base Feedipedia comme dans la quasi-totalité des autres tables, pour pratiquement toutes les matières premières. Le cas échéant ces valeurs sont faciles à déterminer au laboratoire sur tout nouveau lot ou toute nouvelle matière première que l'on peut souhaiter utiliser pour alimenter des lapins.

Au cours des années 1960 à 1980, plusieurs travaux ont cherché à utiliser le lapin comme animal de laboratoire pour estimer, sur de petits volumes de produit, la valeur nutritive des matières premières chez les ruminants (Hintz, 1969, Uden et al., 1982). Si le lapin ne s'est pas avéré être un bon modèle pour prévoir la valeur nutritive pour les ruminants, il existe cependant plusieurs analogies. Nous nous sommes proposés d'inclure la teneur en énergie digestible et la digestibilité des protéines chez les ruminants parmi les régresseurs potentiels. Les valeurs moyennes pour le porc en croissance, animal monogastrique comme le lapin, ont également été incluses dans la liste des régresseurs, d'assez nombreux essais ayant été réalisés sur les matières premières concentrées comme sur beaucoup de fourrages potentiellement utilisables par le Lapin. La valeur nutritive pour les volailles par contre n'a pas été retenue car les fourrages n'ont en général par été étudiés pour ce groupe d'espèces.

L'expérience nous montre que l'inclusion des valeurs ruminant et porc a été un plus dans les équations de prévision de l'ED, ce qui n'avait jamais été tenté à notre connaissance. Couplées avec des éléments d'analyse chimique pour l'estimation de l'énergie digestible ou utilisées seules pour l'estimation de la digestibilité des protéines, les valeurs moyennes issues des essais sur Ruminants et sur Porc sont les régresseurs qui donnent les plus faible variabilité résiduelles, ou dit autrement la meilleure précision.

### 3.2 - Niveaux de corrélation et de précision

Les différentes équations obtenues ci-dessus ont des coefficients de corrélation  $R^2$  relativement élevés en raison principalement de la grande amplitude de la valeur nutritive (EDLap et CUDNLap) des matières premières utilisées dans la matrice ayant servi au calcul. Par contre elles ont une relativement faible précision : au mieux  $\pm 9,45\%$  de la valeur moyenne de 12,6 MJ/kg pour l'énergie et  $\pm 9,18\%$  de la valeur moyenne de 66,2% pour la digestibilité des protéines.

Lors de l'estimation de la digestibilité des protéines à partir des composantes analytiques, Villamide et Fraga (1998) n'ont pas trouvé d'équation prédictive acceptable à partir des analyses classiques. Ce n'est qu'en faisant appel à la teneur en azote liée au NDF (disponible seulement pour 11 des 95 échantillons de matières premières étudiées) que ces auteurs ont trouvé une équation acceptable ( $R^2 = 0,905$ ). En tout état de cause la fraction azotée liée au NDF étant principalement le reflet des protéines endommagées par la chaleur, ce dosage n'est pas pertinent pour l'étude des matières premières non chauffées comme les céréales ou la majorité des fourrages.

### 3.3 – Utilisation des équations

Les différentes équations proposées, en fonction des paramètres disponibles, peuvent d'abord servir à « combler » les trous des tables existantes, y compris celles de Feedipedia. Ensuite, elles peuvent servir à donner une première estimation de la valeur nutritive d'une matière première encore peu ou pas utilisée pour l'alimentation du lapin. Ces premières valeurs sont en effet indispensables si l'on souhaite par exemple comparer cette matière première à d'autres plus classiques après incorporation dans des aliments le plus possible iso-énergétique et iso-azotés (sur la base des protéines digestibles).

Enfin ces équations peuvent surtout servir à corriger la valeur alimentaire contenue dans la matrice de formulation en fonction de la composition réelle des lots de matières premières retenus. Il ne s'agit pas de remplacer « brutalement » la valeur contenue dans la matrice et ayant prouvé sa validité, par une valeur peut-être moins sûre issue d'une équation. Ce qu'il

convient de faire c'est de calculer avec l'équation retenue la valeur « calculée » compte tenu des éléments contenus dans la matrice de formulation. De faire ce même calcul avec la composition du lot de matière première que l'on souhaite utiliser pour des lapins et dont la composition s'éloigne de celle contenue dans la matrice. La différence existant entre ces deux calculs est ensuite utilisée pour moduler la valeur nutritive de référence contenue dans la table lorsque l'on veut utiliser ce lot de matière première pour formuler des aliments.

### Conclusion

En utilisant les analyses chimiques classiques servant à décrire une matière première et en y ajoutant, lorsque cela est disponible, la valeur nutritive admise pour le Ruminant et le Porc en croissance, il s'avère donc possible de proposer une teneur en énergie digestible et un coefficient de digestibilité pour le lapin. Ces estimations restent encore peu précises mais valent toujours mieux que l'absence totale d'information sur la valeur nutritive.

Ces valeurs doivent pouvoir servir à étudier de nouvelles matières premières dans de bonnes conditions d'équilibre des rations. Elles peuvent surtout servir à moduler les valeurs tabulaires retenues, ce qui est important pour les fourrages en particulier.

En tout état de cause, les estimations faites en utilisant une équation ne prétendent pas remplacer des études *in vivo* bien réalisées, mais ces dernières, ont un coût élevé et sont également délicates à conduire dans de bonnes conditions.

### Références

- CONFAIS J., LE GUEN M., 2006. Premiers pas en régression linéaire avec SAS. *Rev. Modulad* N°35, 220 - 363
- FEEDIPEDIA, 2013. An on-line encyclopedia on animal feeds. URL: <http://www.feedipedia.org>
- GIDENNE T., LEBAS F., Fortun-Lamothe L., 2010. Chapter 13. Feeding behaviour of rabbits. In de Blas C., Wiseman J., "Nutrition of the rabbit" - CAB International Ed., pages 233-252.
- HINTZ H. F., 1969. Review article : Equine nutrition comparisons of digestion, coefficient obtained with cattle, sheep, rabbits and horses. *The Veterinarian*, 6, 45-51.
- UDEN P., VAN SOEST J.P., 1982. Comparative digestion of timothy (*Phleum pratense*) fibre by ruminants, equines and rabbits. *British Journal of Nutrition* 47 (2): 267-272.
- VAN SOEST P. J., 1963. Use of detergents in analysis of fibrous feeds: a rapid method for the determination of fiber and lignin. *Association of Official Analytical Chemists*, 46, 829-835.
- VILLAMIDE M. J., FRAGA M.J., 1998. Prediction of the digestible crude protein and protein digestibility of feed ingredients for rabbits from chemical analysis. *Animal Feed Science and Technology* 70 (3): 211-224.