

PREDICTION DE LA DIGESTION DE L'AMIDON DANS LE RUMEN A PARTIR DES DONNEES *IN SACCO*

A. OFFNER¹, D. SAUVANT¹, J. VAN EYS, A. BACH²

¹ UMR INRA-INAPG Physiologie de la Nutrition et Alimentation, Paris
² Agribands, Barcelona

INTRODUCTION

Le site et le taux de digestion de l'amidon influencent les réponses nutritionnelles et zootecniques du ruminant (Sauvant, 1997). La méthodologie *in sacco* permet de connaître la cinétique de dégradation de l'amidon dans le rumen (Nocek et al., 1991).

Objectifs:

- ★ Synthèse des données de dégradation *in sacco* de l'amidon
- ★ Evaluation et validation de ces données par rapport à l'*in vivo*

1. METHODES UTILISEES

Construction des bases de données:

in sacco: 47 références, 291 observations
in vivo: 87 références, 316 observations (bovins)

Analyse statistique:

GLM ® Détermination des valeurs *in sacco*

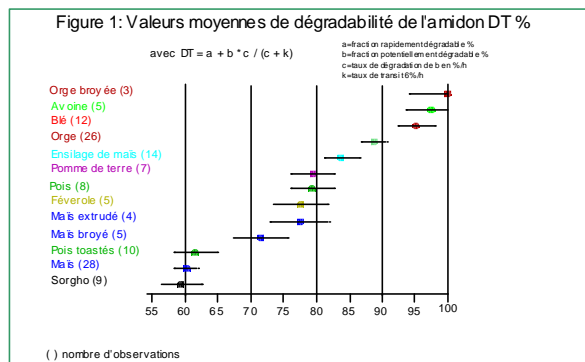
$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ijk}$$

α_i : effet laboratoire, β_j : effet ingrédient

Régression ® Comparaison *sacco* - *vivo*

2. RESULTATS

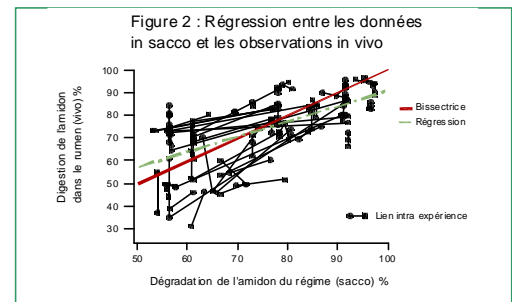
2.1. Résultats *in sacco*



2.2.2. Facteurs explicatifs

La prédiction est largement améliorée en prenant en compte: - l'effet expérience:

$$Y = 24,4 + 0,66 \cdot DT \quad (n = 148, n_{exp} = 63, R^2 = 92\%, etr = 5,8)$$



2.2. Comparaison *in sacco* – *in vivo*

2.2.1. Modèle global

La méthode *in sacco* permet de prédire la digestion de l'amidon dans le rumen:

$$Y = 20,15 + 0,71 \cdot DT \quad (n = 168, R^2 = 44\%, etr = 11,7)$$

La méthode *in sacco* tend à **sous-estimer** la digestion des amidons lentement dégradés et elle tend à **suresimer** la digestion des amidons rapidement dégradés.

- la matière sèche ingérée:

$$Y = 32,7 + 0,75 \cdot DT - 6,19 \cdot MSI (\%PV) \quad (n = 168, R^2 = 55\%, etr = 10,5)$$

CONCLUSION

- ★ Analyse quantitative des données *in sacco* ® tables
- ★ Résultats utilisables pour prédire la digestibilité de l'amidon *in vivo*.
- ★ Le niveau de MSI permet d'améliorer la prédiction.

INFLUENCE OF GRAIN DENSITY ON RUMEN AND DIGESTIVE CHARACTERISTICS

A. OFFNER ¹, A. BACH ², D. SAUVANT ¹

¹ UMR INRA-INAPG Physiologie de la Nutrition et Alimentation, Paris

² Agribands, Barcelona

Introduction

The objective of this study was to evaluate the interest of using grain density (D) as a predictor of treatment effects

Methods

Database construction

21 references and 69 treatments

Animals: cattle

Raw materials: mostly corn and sorghum

Treatments: mostly steam-flaking and dry-rolling

D ranged from 170 to 684 g/L (389 ± 100 g/L)

Statistical analyses of the data

G. L. M. procedure

Experimental effect used as a qualitative variable.

Results : large influence of grain density on digestive parameters

- ruminal digestibility of starch
- microbial protein
- rumen pH

figure 1: within experiments relationship between density and starch digestibility in the rumen.

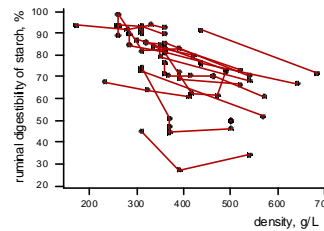


figure 2: within experiments relationship between density and microbial protein.

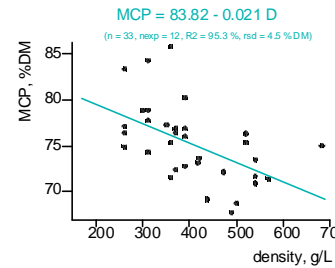
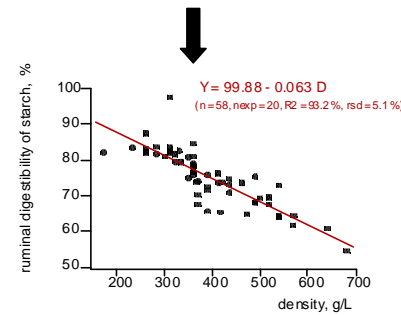
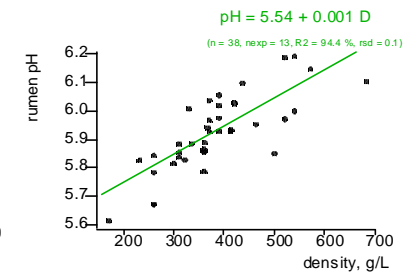


figure 3: within experiments relationship between density and rumen pH.



Conclusion

Grain density is a **simple quantitative parameter**. The results within trials show that density can be used to predict accurately some ruminal parameters.

The digestive effects of technological treatments such as steam-flaking can largely be captured considering density effects.



DIGESTIVE INTERACTIONS: RESPONSES TO SOME VARIATIONS OF THE AMOUNT OF STARCH DIGESTIBLE IN THE RUMEN

A. OFFNER, D. SAUVANT

UMR INRA-INAPG Physiologie de la Nutrition et Alimentation, Paris, France

Introduction

Few quantitative studies deal with the consequences of microbial interactions in the rumen.

Our objective was to study the influence of variable amount of starch digestible in the rumen on the major parameters of digestion.

Results and Discussion

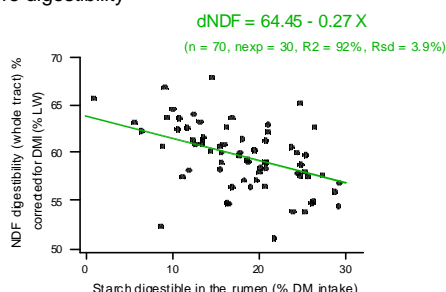
Fibre utilization :

An increase of 1% of the content of starch digestible in the rumen leads to a decrease of NDF and ADF digestibilities in the total tract (**- 0.27 %**) and in the rumen and (**- 0.63 %**)

> Compensatory phenomena in the distal part of the gut ($0.27 \ll 0.63$)

> The decrease of fibre digestibility was not significant above a threshold of 30% of starch digestible in the rumen (% DM)

Figure 1: 'Within trials' influence of digestible starch content on fibre digestibility



Rumen state :

Rumen pH and acetate to propionate ratio decreased significantly with the amount of starch digestible in the rumen.

pH = $6.5 - 0.011 X$ (n = 75, n_{exp} = 31, R² = 95 %, Rsd = 0.1)

Methods

Database construction : 87 references, 316 treatments

Parameters measured *in vivo* in cattle :

- digestibility (rumen, total tract) : starch, fibre
- rumen parameters : VFA content and profile, microbial N

Statistical analyses :

Correction of the parameter for the level of dry matter intake

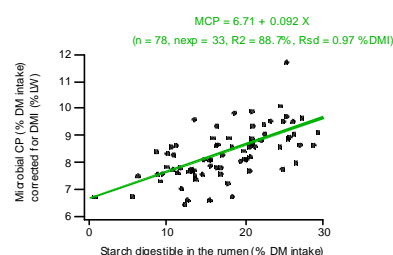
Analysis 'within trials' : $Y = a + \text{exp} + bX$

exp : experimental effect

Interaction between energy and protein digestibility in the rumen :

The amount of digestible starch largely contributed to the source of energy for microbes.

Figure 2: 'Within trials' influence of digestible starch content on microbial protein



Conclusion

Increasing the intake of starch digestible in the rumen

- ↳ fibre digestibility (especially in the rumen)
- ↳ rumen pH and acetate to propionate ratio
- ↳ formation of microbial protein.

Above a threshold of 30% of starch digestible in the rumen, the regressions were not relevant any more.

Such interactions should be integrated in rumen models and in feeding systems.

COMPARAISON DE TROIS MODELES DU RUMEN SUR LEUR APTITUDE A PREDIRE LA DIGESTION DES GLUCIDES PARIETAUX ET AMYLACES

A. OFFNER, P. CHAPOUTOT et D. SAUVANT

UMR INRA-INAPG Physiologie de la Nutrition et Alimentation, Paris

Chez les ruminants, la quantité de matière organique fermentée (MOF) joue un rôle déterminant. L'objectif de cette étude est d'améliorer la prédiction de la MOF en évaluant et comparant la prédiction de la digestion des glucides (amidon et NDF, neutral detergent fiber) par trois modèles mécanistes du rumen.

**Modèle de
Lescoat et al., 1995**



**MOLLY
(Baldwin et al., 1997)**



**CNCPS
(v. 4.0.31, 2001)**

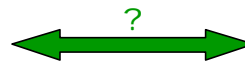


Méthode

Données observées

« Construire » une base de données

>> digestibilité ruminale (*dR*) sur vaches laitières.
32 références de digestibilité de l'amidon,
40 références de digestibilité du NDF.



Données simulées

Faire « tourner » les modèles
avec des entrées similaires

Analyser les résultats
GLM intra-expérience
 R^2 , *etr* : écart type résiduel
 et_{exp} : écart type inter-expérience

Résultats

Prédiction de la digestibilité de l'amidon

$dR_{obs.} = 17,16 + 0,70 dR_{sim.}$ ($R^2 = 0,90$, $etr = 6,0\%$, $et_{exp} = 25,1\%$) ← Lescoat et al. → Pas de relation

Pas de relation ← MOLLY →

$dR_{obs.} = -29,55 + 1,23 dR_{sim.}$ ($R^2 = 0,89$, $etr = 6,4\%$, $et_{exp} = 25,2\%$) ← CNCPS →

Prédiction de la digestibilité du NDF

$dR_{obs.} = 33,16 + 0,26 dR_{sim.}$ ($R^2 = 0,91$, $etr = 4,1\%$, $et_{exp} = 19,4\%$)

$dR_{obs.} = 32,74 + 0,40 dR_{sim.}$ ($R^2 = 0,90$, $etr = 4,2\%$, $et_{exp} = 20,2\%$)

Figure 1 : Relation intra-expérience entre les valeurs de digestibilité ruminale de l'amidon observées et prédites par le modèle de Lescoat et al.

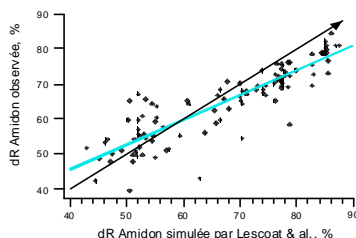
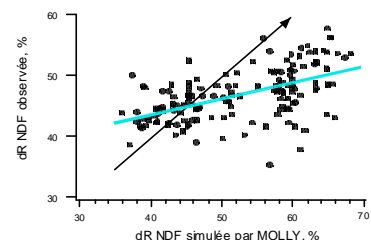


Figure 2 : Relation intra-expérience entre les valeurs de digestibilité ruminale du NDF observées et prédites par MOLLY



Le modèle de Lescoat et al. prédit la digestibilité de l'amidon de manière satisfaisante.
Le modèle est basé sur des mesures de dégradabilité *in sacco*.

MOLLY prédit la digestibilité du NDF de manière satisfaisante.

Le modèle est basé sur la dynamique de trois compartiments (cellulose, hémicellulose, lignine).

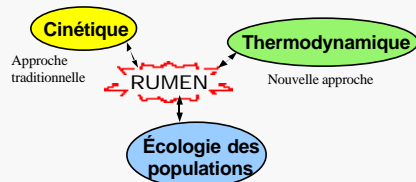
MODELISATION THERMODYNAMIQUE DU METABOLISME MICROBIEN DANS LE RUMEN

A. OFFNER et D. SAUVANT

UMR INRA-INAPG Physiologie de la Nutrition et Alimentation, Paris

Introduction

Le rumen, organe clé de la digestion chez les ruminants, est constitué d'une microflore complexe et diversifiée. Les modèles du rumen actuellement développés ne prédisent pas de façon satisfaisante les produits terminaux (acides gras volatils) provenant des fermentations microbiennes.



Choix de l'approche « thermodynamique »

- Les processus en **anaérobiose** sont proches des conditions d'équilibre thermodynamique.
- Le rumen se compose d'une **microflore complexe et diversifiée**; de nombreuses voies métaboliques sont possibles. Les réactions favorisées sont celles qui maximisent leur rendement thermodynamique.

Méthodes

* Principes de la thermodynamique utilisés

Réaction chimique: $A \leftrightarrow B$ (Les réactions sont réversibles)

Equations différentielles: $\frac{d[A]}{dt} = k_2 [B] - k_1 [A]$

Énergie de Gibbs: $\Delta rG = \Delta rG^\circ + RT \ln \frac{[B]}{[A]}$

A l'équilibre:

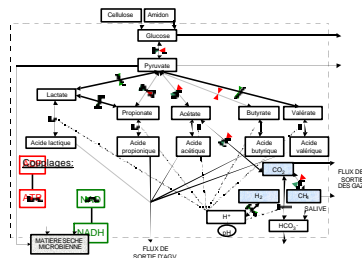
$\frac{d[A]}{dt} = 0$ ou $\Delta rG = 0$

$K_{eq} = \frac{[B]}{[A]} = \exp \frac{-\Delta rG^\circ}{RT}$

Les taux de réaction sont déterminés par les variations d'énergie de Gibbs

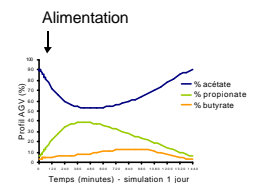
La réaction évolue dans le sens d'une diminution de l'énergie de Gibbs. Dans un système fermé, l'équilibre thermodynamique est atteint lorsque $\Delta rG = 0$

* Description du modèle : diagramme de Forrester simplifié



Résultats

* Exemple: prédiction du profil en acides gras volatils



• Stoechiométrie

Proportions moyennes observées dans le rumen: 63% Acétate / 21% Propionate / 12% Butyrate

• Dynamique

Augmentation post-prandiale de propionate liée à une adaptation à l'excès d'énergie et d'hydrogène moléculaire

* Difficultés

Modélisation d'un système ouvert, contrôlé par un réseau de réactions métaboliques

- Taille et turn-over des compartiments variables
- Modèle très sensible, difficile à paramétrer
- Nécessité d'intégrer des contraintes de réalisme
- Pas de réelle différenciation entre milieu cellulaire (microbes) et extracellulaire (rumen)

Conclusion

Cette approche originale a présenté des résultats cohérents et réalistes. Néanmoins, les simulations du pH et du potentiel d'oxydo-réduction ne sont pas satisfaisantes. Il semble important de chercher à intégrer d'autres informations, de la cinétique chimique et de la biologie des populations.



CONTRIBUTION OF RUMINALLY DEGRADED STARCH TO THE PREDICTION OF FERMENTABLE ORGANIC MATTER FOR RUMINANTS



A. OFFNER, D. SAUVANT

UMR INRA INA P-G, Physiologie de la Nutrition et Alimentation, Paris, France

Introduction

The amount of fermentable organic matter (RFOM) in the rumen has many consequences, especially on microbial growth.

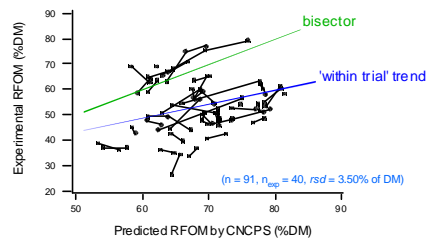
The objective of the study was first to compare RFOM predicted by CNCPS and INRA models and RFOM observed from a literature review. Then, the study intended to better predict RFOM by integrating the influence of rumen-degradable starch.

Results

• CNCPS

$$RFOM_{CNCPS} = RDP_{CNCPS} + RDCHO_{CNCPS}$$

* rumen-degradable protein (RDP) and rumen-degradable carbohydrate (RDCHO)



- ⇒ Overestimation of RFOM (+15.8 % of DM)
- ⇒ Residual standard deviation 3.50 % of DM
- ⇒ Standard deviation across trials 15.4 % of DM

Methods

DATABASE CONSTRUCTION

A database was built with experimental data (n = 316) coming from published references (n = 87) and contained observations on organic matter and starch digestibility in the rumen.

MODEL EVALUATION

The INRA system and the CNCPS were evaluated from experimental diets of the database.

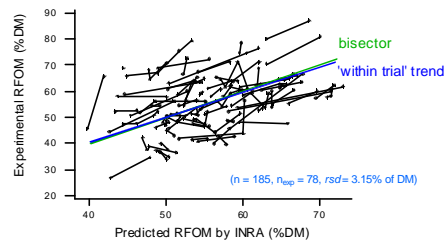
STATISTICAL ANALYSIS

Data were analyzed by a general linear model including the 'trial' effect.

• INRA

$$RFOM_{INRA} = DOM - EE - RUP$$

* digestible organic matter (DOM), rumen-undegradable protein (RUP), ether extract (EE)



- ⇒ Residual standard deviation 3.15 % of DM
- ⇒ Standard deviation across trials 14.4 % of DM

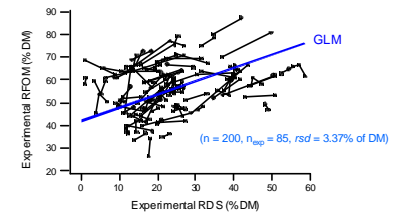
Conclusion

The estimation of RFOM by currently-used models was not satisfactory with large variations across trials and large residual standard deviations.

Considering the large influence of rumen-degradable starch on RFOM estimation, the study suggested to take this effect into account. This leads to more accurate estimations of RFOM.

The authors thank Cargill Animal Nutrition for their financial support.

• INFLUENCE OF RUMEN-DEGRADABLE STARCH



A large part of RFOM could be explained by variations of rumen-degradable starch (RDS).

RFOM can be predicted by:

$$RFOM = 20 + RDP + 0.65 \times RDS_{glu} + 0.50 \times DNDF$$

* rumen-degradable protein (RDP), digestible NDF (DNDF)

- ⇒ Residual standard deviation to 2.96 % of DM

Need
for
a
more
accurate
prediction

