

RECHERCHE DE FACTEURS EXPLICATIFS DE LA DIGESTIBILITE DE L'AMIDON ET DE L'ENERGIE DES BLES CHEZ LE POULET DE CHAIR PAR META-ANALYSE

Nugues Méline¹, Métayer Jean-Paul², Skiba Fabien³, Duyme Florent², Vilariño Maria¹

¹ ARVALIS – Institut du végétal, Pouline, 41100 VILLERABLE

² ARVALIS – Institut du végétal, 91720 BOIGNEVILLE

³ ARVALIS – Institut du végétal, 21 chemin de Pau, 64121 MONTARDON

m.nugues@arvalisinstitutduvegetal.fr

RÉSUMÉ

Chez le poulet de chair, les régimes à base de blé peuvent générer une variabilité importante de la digestibilité et par conséquent, de l'énergie disponible pour l'animal. C'est pourquoi nous avons entrepris d'étudier par le biais de la méta-analyse notre base de données *in vivo* (BDD^{Arv}) et une base de données issue de la bibliographie (BDD^{Bib}). L'objectif principal est la recherche de facteurs explicatifs de la digestibilité de l'amidon (CUDamidon) et de la valeur énergétique (EMAn) des blés chez le poulet de chair. BDD^{Arv} réunit les données de 11 essais réalisés par ARVALIS - Institut du végétal. BDD^{Bib} est constituée de 20 articles (24 essais) publiés dans des revues à comité de lecture. Ainsi, pour chaque base de données, nous avons modélisé le CUDamidon et l'EMAn à partir d'un modèle linéaire mixte prenant en compte l'effet essai.

Sur la BDD^{Arv}, l'EMAn du blé ($R^2=0,90$) est expliqué par le CUDamidon du blé et la teneur en arabinoxylanes solubles. Dans ce modèle, le CUDamidon du blé explique à lui seul 85% de la variabilité de l'EMAn du blé, ce qui confirme tout l'intérêt de pouvoir le prédire. Sur la BDD^{Bib}, l'EMAn des aliments à base de blé est expliqué ($R^2=0,81$) par le CUDamidon de l'aliment, la viscosité utile potentielle (VUP) et la dureté des blés. Sur BDD^{Arv}, le CUDamidon du blé est partiellement expliqué ($R^2=0,36$) par la dureté, le poids de mille grains et la teneur en parois insolubles des blés. Sur BDD^{Bib}, le CUDamidon du blé est uniquement expliqué par la dureté ($R^2=0,63$). Ces méta-analyses ont permis de quantifier l'importance de la fraction amidon dans l'élaboration de l'EMAn du blé. Cependant, les modèles ne nous permettent pas de prédire le CUDamidon du blé.

ABSTRACT

Research of explanatory parameters of starch digestibility and energetic value of wheat by broiler by meta-analyses.

Wheat-based diets for broilers can lead to a high variability of digestibility and consequently of the available energy for the animal. Therefore we decided to study two databases via meta-analysis, one based on our trials (BDD^{Arv}) and one based on bibliography (BDD^{Bib}). The main aim is to find explanatory parameters of the starch digestibility and of the apparent metabolisable energy (AMEn) of wheat by poultry. BDD^{Arv} contains data of 11 trials made by Arvalis – Institut du végétal, with a total of 56 treatments and 20 independent variables. BDD^{Bib} includes 20 scientific papers (24 trials) from peer-reviewed journals, with a total of 167 treatments and 8 independent variables. For each database, equations of the starch digestibility and of the AMEn were determined with a linear mixed model, with the trial as a random effect.

For BDD^{Arv}, the AMEn of wheat is explained ($R^2=0.90$) by the starch digestibility of wheat, the content in water-soluble arabinoxylans and the starch digestibility already explains 85% of the variability of wheat AMEn. For BDD^{Bib}, the AMEn of wheat-based diets is explained ($R^2=0.81$) by the starch digestibility, the potential applied viscosity (PAV) and the wheat hardness. For BDD^{Arv}, the starch digestibility is partially explained ($R^2=0.36$) by wheat hardness, 1000 grains weight and water-insoluble cell walls. For BDD^{Bib}, the starch digestibility of diet is explained by wheat hardness only ($R^2=0.63$). These meta-analyses allow to quantify the importance of starch in the construction of wheat AMEn equation. But the models are not able to predict the starch digestibility.

INTRODUCTION

Chez le poulet, les régimes à base de blé peuvent générer une variabilité plus ou moins importante de la digestibilité (Barrier-Guillot *et al.*, 1997, Maisonnier *et al.*, 2001), et par conséquent, de l'énergie disponible pour l'animal. Les faibles niveaux de digestion semblent être préjudiciables à la santé des animaux. D'une part, les microorganismes intestinaux seraient favorisés en étant les premiers destinataires des nutriments au détriment de l'hôte. D'autre part, ce faible niveau de digestion serait synonyme d'une augmentation des substrats favorables aux développements microbiens des litières, avec risque de dégradation des conditions sanitaires. Enfin, les rejets des élevages dans l'environnement seraient accrus.

La digestibilité de l'amidon, la valeur énergétique des blés et leur variabilité ont fait l'objet de nombreuses recherches. Certains facteurs (viscosité, dureté) ont été mis en évidence sans expliquer toute la variabilité (Skiba *et al.*, 2003, Carré *et al.*, 2005). Cependant, Métayer *et al.* (2007) trouvent des résultats contradictoires sur l'influence de ces deux critères et avancent une relation positive entre la digestibilité de l'amidon et l'Energie Métabolisable Apparente à bilan azoté nul (EMAn). L'objectif de ce travail est de compiler d'une part un grand nombre de données acquises lors de différents essais dans des conditions comparables et d'autre part, des données publiées dans la bibliographie afin de déterminer les facteurs de variation de l'EMAn du blé et de quantifier la relation entre cette valeur énergétique et la digestibilité de l'amidon des blés (CUDamidon), par la méta-analyse.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Création et gestion des bases de données

Une première base de données (BDD^{Arv}) a été créée en compilant les données d'essais réalisés par ARVALIS - Institut du végétal entre 1997 et 2007. Elle comprend 11 essais, 56 traitements (dont 46 blés) et 459 lignes (une ligne = un poulet = une unité expérimentale). Tous les essais ont été réalisés par la même équipe et dans les mêmes conditions : poulets de type standard, mâles de souche Ross PM3, aliment démarrage de J0 à J14, mise en lots à J14, aliments à 50% blé sur une base maïs/soja, bilan digestif par collecte totale (Bourdillon *et al.*, 1990) entre J20 et J24. Cette base de données intègre les caractéristiques physico-chimiques et nutritionnelles des blés ainsi que des variables informatives. Le tableau 1 liste les variables de deux bases de données et décrit certaines d'entre elles. La taille des granules d'amidon a été mesurée sur 25 des 46 blés. La cinétique de dégradation de l'amidon a été mesurée sur tous les blés par en utilisant une méthode *in vitro* développée par Englyst *et al.*, 1992 pour prédire la digestibilité *in vitro* de l'amidon.

Une seconde base de données (BDD^{Bib}) compile des données issues d'articles scientifiques. Nous n'avons retenu que ceux qui comportent des valeurs d'EMA du blé ou de l'aliment et de digestibilité fécale de l'amidon. Elle comporte 20 articles et 24 essais, qui vont de 1997 à 2011, soit 167 lignes. Une ligne représente un traitement expérimental, avec 4 à 28 répétitions par traitement suivant l'essai. Les animaux sont des poulets standards, issus de différentes souches : Ross (118 traitements), Isa (38 traitements), Cobb (4 traitements), Arbor Acres (1 traitement). Il y a également 2 souches issues de lignées divergentes (D⁺ et D⁻, sélectionnées pour des valeurs d'EMAn fortes et faibles, respectivement). Comme pour la BDD^{Arv} elle intègre des variables explicatives et informatives (Tableau 1).

Les données sur la digestibilité de l'énergie de l'aliment ont été uniformisées en les exprimant toutes en EMAn (kcal/kg MS). Pour cela, nous avons utilisé un coefficient de passage ($c = EMA/EMAn = 0,9533$) obtenu à partir de la BDD^{Arv}. Le coefficient a été validé sur cette même base (prédit – mesuré) et l'écart moyen n'est que de -0,35 kcal.

Les statistiques descriptives des variables à expliquer (EMAn du blé et de l'aliment, CUDamidon du blé), sont présentées dans le tableau 2 et celles des variables explicatives rentrant dans les différents modèles sont présentées dans le tableau 3.

1.2. Analyses statistiques

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel libre R, version 2.15.

Nous avons choisi le modèle linéaire mixte (MLM) avec l'effet « essai » en effet aléatoire. Avant de développer ces modèles nous avons d'abord comblé les données manquantes de la BDD^{Bib} lorsque cela était nécessaire. Aucune donnée n'a été ajoutée dans la BDD^{Arv}. Ensuite, la méthode de « forêts aléatoires » a été utilisée pour sélectionner les variables à tester dans les modèles.

1.2.1. Gestion des données manquantes de BDD^{Bib}

Pour la teneur en amidon du blé où il y avait peu de données manquantes, celles-ci ont été estimées par la moyenne. Cela permet de prendre en compte des traitements qui n'avaient pas ces données à l'origine. Pour celles où le nombre de données manquantes était trop important, estimer par les moyennes supposait un risque important de biaiser les relations entre variables. Nous avons donc transformé ces variables en variables qualitatives, dont les classes correspondent aux quartiles. Le passage en variable qualitative a été utilisé pour la VUP, la dureté, le poids spécifique, la teneur en parois végétales, en protéines, en polysaccharides non amylacés (NSP) solubles, et en NSP insolubles. Une classe « inconnue » a été créée pour les données manquantes.

1.2.2. Sélection de variables explicatives.

Pour sélectionner les variables à faire entrer dans les MLM nous avons utilisé la méthode de forêts aléatoires (basée sur l'algorithme de Breiman (2001), fonction 'randomForest' du package 'randomForest'). Cette méthode s'appuie sur la classification de données en arbres, chaque arbre étant un vecteur aléatoire, tous indépendants et identiquement distribués. Lors de l'agrégation de tous les arbres obtenus, chaque arbre vote à chaque étape pour le critère de sélection. Cette méthode nous a donné le nombre de variables explicatives minimisant les erreurs de prédiction et les variables explicatives les plus importantes. L'importance de chaque variable est mesurée grâce aux variations de MSE du modèle (Mean Squared Error). Si une variable est importante pour la prédiction, son ajout dans le modèle va induire une forte baisse de la MSE. Grâce à cette méthode, nous avons également pu prendre en compte les données sur le protocole et le type d'aliment.

1.2.3. Modèles linéaires mixtes.

Les variables sélectionnées par la forêt aléatoire ont été intégrées aux MLM (fonction 'lme', package 'nlme'). Dans le cas du CUDamidon_{blé} de la BDD^{Arv} la sélection n'étant pas satisfaisante, l'ensemble des variables a été intégré au modèle. Une sélection descendante pas à pas a été réalisée pour que toutes les variables entrant dans les modèles soient significatives à 5%. La précision des modèles est évaluée grâce au coefficient de variation (CVR) (tableau 4), qui est défini comme suit :

$$\text{CVR (\%)} = [\text{ETR}/\text{moy}(Y)] \times 100$$

Avec : CVR=coefficient de variation résiduel, ETR=écart-type résiduel du modèle, moy(Y)=moyenne de la variable à expliquer sur la base de données étudiée.

La qualité prédictive des modèles est estimée par le calcul de la RMSEP (Root Mean Squared Error of Prediction) de chaque modèle. La RMSEP s'exprime dans l'unité de la variable à prédire. Plus un modèle a une bonne qualité prédictive, plus sa RMSEP est faible.

Les valeurs de CUDamidon étant exprimées en pourcentage dans les données, il faut les transformer pour garantir l'homogénéité des variances des résidus. Pour les deux bases de données, la modélisation du CUDamidon est donc faite après transformation : $X = \arcsin [\sqrt{(CUD/100)}]$.

RESULTATS ET DISCUSSION

Après sélection de variables pour les deux bases de données, nous obtenons les modèles détaillés dans le tableau 4.

1.1. Modèles explicatifs de l'EMAn

Les deux modèles ont comme variable explicative le CUDamidon du blé pour BDD^{Arv} et de l'aliment pour BDD^{Bib}. Le R² partiel du CUDamidon est de 0,85 pour BDD^{Arv}. Cela veut dire que la digestibilité de l'amidon des blés explique 85% de leur valeur énergétique dans cette base. Dans la BDD^{Bib}, le R²

partiel du CUDamidon est moins déterminant (0,55), probablement dû à une plage de variation de l'EMAn et du CUDamidon beaucoup moins importante (Tableau 2).

Le modèle de BDD^{Arv} a pour deuxième variable explicative la teneur en arabinoxylanes solubles (AXsol) tandis que le modèle de BDD^{Bib} a pour deuxième variable explicative la VUP. Ceci est assez cohérent car la VUP est une méthode indirecte de détection de la présence d'AXsol. Ces modèles confirment ainsi l'effet anti-nutritionnel de la viscosité du blé chez le poulet de chair, même si cette dernière n'explique qu'une faible part de la variabilité de l'EMAn.

Ces modèles confirment l'importance du CUDamidon dans la prédiction de l'EMAn_{blé}, ce qui d'un point de vue pratique reste difficilement utilisable, sauf à pouvoir le prédire.

1.2. Modèle explicatif du CUDamidon_{blé}

Dans le cas des CUDamidon, les modèles sont présentés après détransformation ($\text{CUD} = \sin^2(X) \times 100$).

La première remarque à faire est la faible part de variabilité expliquée par ces modèles (R² de 0,36 et 0,63 respectivement). La dureté ressort dans les deux bases de données comme un facteur dégradant le CUDamidon_{blé} et avec des effets comparables. Cela confirme l'effet négatif mis en avant par Skiba *et al.* (2003) et Péron *et al.* (2007). Le modèle développé sur la BDD^{Arv} met en avant deux autres variables explicatives : le poids de mille grains (PMG) et la teneur en parois insolubles dans l'eau. Le PMG ne fait pas partie des variables contenues dans la BDD^{Bib}, et il y a trop peu de données sur les parois. La présence d'un effet négatif de la dureté et de la teneur en parois corrobore l'hypothèse d'un problème d'accessibilité des enzymes aux granules d'amidon (Carré *et al.*, 2002, Gutierrez *et al.*, 2008).

1.3. Explication de la variabilité.

Pour illustrer l'impact de chaque variable explicative nous avons calculé l'EMAn et le CUDamidon à partir des modèles, en prenant une plage de variation pour chaque critère (écart testé) et en gardant la valeur moyenne pour les autres. Ainsi, un écart de 10 points du CUDamidon génère une différence de 409 et 344 kcal/kg MS pour les BDD^{Arv} et BDD^{Bib} respectivement, alors que les autres critères n'entraînent que des variations de moins de 63 kcal/kg MS (Tableau 5).

Pour le CUDamidon blé, cet exemple montre que les variations induites par les variables explicatives sont très faibles (moins de 3 points de CUD), malgré des écarts testés relativement importants. Ces modèles, qui avaient montré un faible R², donnent une plage de valeurs prédites beaucoup plus restreinte que la plage de valeurs mesurées. Ils ne permettent pas de prédire de manière juste le CUDamidon blé à partir de variables explicatives intégrées dans les modèles.

CONCLUSION

Cette étude confirme l'existence d'une relation forte entre le CUDamidon_{blé} et l'EMAn_{blé} : le CUDamidon_{blé} représente 85% de la variabilité de l'EMAn_{blé} (BDD^{Arv}). La viscosité est la deuxième variable explicative de l'EMAn_{blé}. Le travail sur BDD^{Bib} présente la dureté comme une troisième variable explicative potentielle. Le CUDamidon_{blé} est quant à lui expliqué par la dureté dans les deux modèles. Les rôles du poids de mille grains et de la teneur en parois insolubles ne sont pas confirmés par BDD^{Bib}, certainement à cause d'un manque de données.

REMERCIEMENTS

Nous remercions de leur contribution :

Denis Bastianelli et son équipe de l'UMR SELMET du CIRAD pour les prédictions de la teneur en amidon des fientes par spectroscopie dans le proche Infrarouge (SPIR).

Gérard Branlard de l'UMR1095 GDEC de l'INRA de Theix pour les mesures de la taille des granules d'amidon des blés.

PROVIMI pour les mesures de cinétique de dégradation *in vitro* de l'amidon des blés.

Philippe Lescoat de l'UR0083 - URA Recherches Avicoles, INRA de Nouzilly, pour ses conseils méthodologiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bourdillon A., Carré B., Conan L., Francesch M., Fuentes M., Huyghebaert G., Janssen W. M. M. A., Leclercq B., Lessire M., McNab J., Rigoni M., Wiseman J., 1990. Brit. Poult. Sci., 31, 567-576.
- Barrier-Guillot B., Bedford M., Métayer J.P., Gatel F., 1997, 2èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 8-10 avril 1997, 33-36.
- Breiman, L., 2001. Machine Learning, 45, 5-32.
- Carré B., Idi A., Maisonnier S., Melcion J.P., Oury F.X., Gomez J., Pluchard P., 2002, Brit. Poultry Science, 43, 404-415.
- Carré B., Muley N., Gomez J., Oury F.X., Laffitte E., Guillou D., Signoret C., 2005. Brit. Poult. Sci., 46, 66-74.
- Englyst H.N., Kingman S.M., Cummings J.H., 1992. Eur. J. Clin. Nutr., 46, S33-50.
- Gutierrez del Alamo A., Verstegen M.W.A., Den Hartog L.A., Perez de Ayala P., Villamide M.J., 2008. Poult. Sci., 87, 759-767.
- Maisonnier S., Gomez J., Carré B., 2001. Brit. Poult. Sci., 42, 102-110.
- Métayer J.P., Vilariño M., Gaüzère J.M., Skiba F., 2007, 7èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 28 et 29 mars 2007, 154-158.
- Skiba F., Barrier-Guillot B., Métayer J.P., 2003. 5èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 26 et 27 mars 2003, 129-132.
- Péron A., Svihus B., Gabriel I., Bérot S., Tanguy D., Bouchet B., Gomez J., Carré B., 2007. Brit. Poult. Sci., 48, 370-380.

Tableau 1. Liste descriptive de variables explicatives potentielles, mesurées sur blé, autres que les teneurs en composants chimiques et nutritionnels couramment mesurés

Type	Critère et descriptif	BDD ^{Arv}	BDD ^{Bib}
Caractéristiques physiques	Poids spécifique (PS) La Masse volumique communément appelé PS, représente le volume occupé par une masse de grains (hl/kg). Cette mesure a un intérêt essentiellement commercial (présente dans les contrats). NF V 03-719	X	
	Poids de mille grains (PMG) Indicateur de l'élaboration du rendement agronomique et technologique des grains. Le PMG est obtenu par comptage de grains entiers contenus dans un échantillon de masse connue. NF V03 702	X	
	Dureté (D) Caractéristique physique qui exprime la cohésion de l'amande et se traduit par la résistance mécanique à l'écrasement. Cette méthode par infrarouge remplace la méthode de PSI (Particle Size Index). Elle s'exprime par un nombre de 0 à 100. AACC 39-70 A	X	X
	Taille granules d'amidon Pourcentage du volume occupé par les granules d'amidon, classées en 3 types (A, B, C) selon leur taille. La proportion de petits et de gros granules d'amidon influence sa composition chimique et par conséquent ses propriétés technologiques et fonctionnelles. Spécifications du manuel de l'appareil (Granulomètre laser Mastersizer 2000)	X	
Caractéristiques chimiques	Viscosité spécifique (VS) Mesure du temps de chute d'un extrait aqueux de blé broyé rapporté au temps de chute de l'eau désionisée, puis à la masse de la matière sèche. Méthode indirecte de la présence d'AXsol. NF V03-749	X	
	Viscosité Utile Potentielle (VUP) Mesure du temps de chute d'un extrait aqueux de blé broyé après traitement préalable à l'éthanol (80%). Méthode indirecte de la présence d'AXsol. Carré <i>et al.</i> , 1994	X	X
	Arabinoxylyanes solubles (AXsol) Polysaccharides solubles non amylacés présents dans les céréales à paille.	X	
	Cinétique de dégradation <i>in vitro</i> de l'amidon Mesure <i>in vitro</i> de la cinétique de dégradation de l'amidon. Les trois valeurs obtenues (Kplat, Cplat et plateau), représentent l'amidon rapidement digestible, lentement digestible et résistant. Englyst <i>et al.</i> , 1992	X	

Tableau 2. Statistiques descriptives des variables à expliquer pour la base de données d'essais (BDD^{Arv}) et la base de données bibliographique (BDD^{Bib}).

	N	Min.	Max.	Moy.	E.T
BDD^{Arv}					
CUDamidon blé (%)	458	60,3	100	92,2	6,8
EMAn blé (kcal/kg MS)	458	1754	3794	3234	319
BDD^{Bib}					
CUDamidon blé (%)	125	72,9	99,4	93,2	5,1
CUDamidon aliment (%)	125	80,7	99,4	93,1	5
EMAn aliment (kcal/kg MS)	125	2735	3872	3194	226

N : nombre ; Min. : minimum ; Max. : maximum ; Moy. : moyenne ; E.T. : Ecart-type ; CUDamidon : Coefficient d'utilisation digestive du blé ou de l'aliment ; EMAn : Energie métabolisable apparente à bilan azoté nul du blé ou de l'aliment à base de blé

Tableau 3. Statistiques descriptives des variables rentrant dans les modèles

	N	Min.	Max.	Moy.	E.T
BDD^{Arv}					
Dureté	449	9	83	50	19,95
Parois (g/kgMS)	458	98	130	112	7,6
AXsol (g/kg MS)	449	3,2	9,4	5,89	1,6
PMG (g)	409	27,3	45,1	37,5	4,3
BDD^{Bib}					
Dureté	76	5	95	52	24
VUP (ml/g MS)	80	1,0	6,9	3,2	1,4

N : nombre ; Min. : minimum ; Max. : maximum ; Moy. : moyenne ; E.T. : Ecart-type ; AXsol : teneur en arabinoxylanes solubles, PMG : Poids de mille grains, VUP : Viscosité Utile Potentielle

Tableau 4. Modèles explicatifs de la valeur énergétique et de la digestibilité de l'amidon des blés ou des aliments à base de blé pour les deux bases de données, d'essais (BDD^{Arv}) et bibliographique (BDD^{Bib}).

Modèle	CVR (%)	R ²	RMSEP	R ² partiel
EMAn du blé (kcal/kg MS)				
BDD ^{Arv} (1) = -421 + 40,83 x CUDamidon blé – 19,09 x AXsol	3,29	0,9	130,32	0,85
EMAn aliment (kcal/kg MS)				
BDD ^{Bib} (2) = -80,5 + 34,43 x CUDamidon aliment – 22,69 x VUP + +1,26 x D	1,57	0,81	96	0,55
CUDamidon blé (%)				
BDD ^{Arv} (3) = $\sin^2 [83,079 - 0,056 \times D + 0,33 \times PMG - 0,155 \times P] \times \frac{100}{100}$	7,7	0,36	6,6	
BDD ^{Bib} (4) = $\sin^2 [78,323 - 0,057 \times D] \times 100$	2,7	0,63	1,8	

(1) Modèle ajusté sur 11 essais, 449 observations ; (2) Modèle ajusté sur 5 essais, 51 observations ; (3) Modèle ajusté sur 10 essais, 409 observations ; (4) Modèle ajusté sur 7 essais, 64 observations ; EMAn : Energie Métabolisable Apparente à bilan azoté nul ; CUD : Coefficient d'utilisation Digestive ; AXsol : arabinoxylanes solubles ; VUP : Viscosité Utile Potentielle ; D : Dureté ; PMG : Poids de Mille grains ; P : Parois végétales insolubles dans l'eau ; CV : Coefficient de variation ; R² : Coefficient de détermination ; RMSEP : Root Mean Square Error of Prediction ; R² partiel : R² de la variation expliquée par le CUDamidon_{blé} ; toutes les variables des modèles sont significatives à 5%.

Tableau 5. Exemples des écarts induits sur l'EMAn (du blé ou de l'aliment) par la variation des différentes variables explicatives des modèles

BDD	BDD ^{Arv}	BDD ^{Bib}
EMAn	blé	aliment
Unité	kcal/kgMS	kcal/kgMS
Variable explicative	Ecart testé	Ecart obtenu
CUDamidon _{blé} (%)	10	409
AXsol (g/kg MS)	2	38
CUDamidon _{alt} (%)	10	344
VUP (ml/g MS)	1	23
Dureté (points)	50	63
Modèle moyen	2822	3088

Ecart testé : plage de variation choisie pour chaque variable, testée dans le modèle en gardant les valeurs moyennes pour les autres variables. Ecart obtenu : Niveau énergétique expliqué par l'écart testé.

Tableau 6. Exemples des écarts induits sur le CUD amidon (du blé ou de l'aliment) par la variation des différentes variables explicatives des modèles

BDD	BDD ^{Arv}	BDD ^{Bib}
CUD amidon	blé	blé
Unité	Points (%)	Points (%)
Variable explicative	Ecart testé	Ecart obtenu
Dureté (points)	50	2,37
PMG (g)	5	1,55
Parois (g/kgMS)	10	1,36
Modèle moyen	93,6	3088

Ecart testé : plage de variation choisie pour chaque variable, testée dans le modèle en gardant les valeurs moyennes pour les autres variables. Ecart obtenu : Niveau énergétique expliqué par l'écart testé.