PREDICTIBILITE DE LA CAPACITE DE RETENTION EN EAU D'UN ALIMENT COMPOSE DESTINE AUX VOLAILLES

Brachet Mathilde[1], Arroyo Julien[2], Bannelier Carole[1], Cazals Anaïs[1], Pautot Corinne[1], Fortun-Lamothe Laurence[1]

[1]UMR1388 (INRA/INPT) Génétique Physiologie et Systèmes d'Elevage, F-31326 CASTANET-TOLOSAN
[2] ASSELDOR, Station d'expérimentation appliquée et de démonstration sur l'oie et le canard - La Tour de Glane - 24420 COULAURES

laurence.lamothe@toulouse.inra.fr

RÉSUMÉ

Hormis leur avantage économique et leur équilibre nutritionnel, les aliments sous forme de granulés complets présentent également d'autres caractéristiques (couleur, capacité d'hydratation, dureté), pouvant influencer le temps de transit des aliments, le développement du tractus digestif (ex : jabot), l'ingestion ou encore la satiété. L'objectif de ce travail était d'étudier si la capacité d'hydratation d'un granulé est prédictible à partir de la valeur des ingrédients qui le composent. La mesure de capacité de rétention en eau (CRE ; mesure du poids d'eau absorbé après 24h) a été réalisée sur des matières premières brutes (MP ; grille de broyage de 5 mm) et des aliments composés granulés. Huit aliments complets ont été formulés à partir d'une base identique (blé, maïs, orge, tourteau de tournesol, $CaCO_3$, NaCl) à laquelle est rajoutée une MP (pulpe de betterave, son d'avoine, coque de soja, pulpe de citrus) de CRE élevée. La CRE réelle de l'aliment complet a été comparée à celle prédite à partir de la CRE des MP. De plus, nous avons testé 20 autres aliments granulés (nommés aliments référencés) composés de MP de CRE connue mais provenant d'autres lots de récolte ou de livraison que les MP testées ici. La CRE d'un aliment composé augmente avec le taux d'incorporation de MP à forte CRE. Ainsi, la CRE de l'aliment augmente de 8, 30, 48 et 76% par rapport à l'aliment de base (1,76 g H_2O/g MS) lorsque de la pulpe de betterave est incorporée à 5, 10, 15 et 20%, respectivement ($P<0,05$). La CRE répond donc au principe d'additivité qui est sous-jacent à la formulation en alimentation animale. La corrélation entre la CRE estimée et la CRE mesurée est élevée ($R²=0,89$ pour les 8 aliments expérimentaux et $R²=0,81$ pour les 20 aliments référencés). Et la différence entre CRE estimée et CRE mesurée est de 10% en moyenne. Ce critère peut donc aussi être considéré comme prédictible. Toutefois, certains écarts entre valeur prédite et mesurée peuvent atteindre 19%. Les valeurs prédites doivent donc être confirmées par des mesures. En conclusion, répondant aux critères d'additivité et de prédictibilité, la CRE offre des perspectives intéressantes comme nouveau critère de formulation en alimentation animale.

ABSTRACT

Predictability of water-holding capacity of compound diet for poultry.

Apart from their economic advantage and nutritional balance, compound pelleted feeds have other characteristics (color, hydration capacity, hardness), which may influence the transit time of food, the development of the digestive tract (crop for example), ingestion or satiety. The aim of this study was to investigate if the hydration capacity of a pellet is predictable from the value of its ingredients. The water holding capacity (WHC) measurement (weight of water absorbed after 24 hours) was performed on raw material (5 mm sieve size) and compound pelleted feeds. Eight compound feeds were formulated from the same base (wheat, corn, barley, sunflower meal, CaCO3, NaCl) to which is added a raw material with high WHC (sugar beet pulp, oat bran, soybean hull, citrus pulp). The measured WHC of compound pellet was compared with the calculated WHC from WHC of raw material. Moreover, we tested 20 others compound feed pellets (called referenced food) which the WHC of their raw material is known but which came from others crops than raw material tested here. The WHC of a compound pellet increases with the rate of incorporation of raw material with high WHC. Thus, the WHC of compound pellet increases by 8, 30, 48 and 76% compared to basic pellet (1.76 g H2O/g DM) when the sugar beet pulp is incorporated at 5, 10, 15 and 20%, respectively ($P < 0.05$). Therefore the WHC could be considered as additive, principle that underlies the formulation in animal feed. The correlation between calculated WHC and measured WHC was high ($R²=0.89$ and $R²=0.81$, in the experimental and the reference feed, respectively; $P<0.001$) and the difference between the two measurements reaches 10% on average. So, this criterion may be considered as predictable. However, some difference can reach 19%. Calculated values must be confirmed by measurement. In conclusion, meeting the criteria of additivity and predictability, WHC offers interesting prospects as new criteria for animal feed formulation.

INTRODUCTION

Chez les volailles, l'aliment est généralement distribué sous forme de granulé complet. Cette forme de présentation présente des intérêts économique et nutritionnel (équilibre de la ration en fonction de l'état physiologique des animaux), mais aussi environnemental (possibilité de valoriser des coproduits difficilement valorisables en l'état). Ces aliments sont formulés à moindre coût et en tenant compte de contraintes nutritionnelles fixées. Pourtant, d'autres caractéristiques que le seul équilibre nutritionnel, telles que la couleur, la dureté ou la capacité d'hydratation, ont une influence sur l'ingestion, la digestion et les performances des animaux. Plus particulièrement, il a été montré que le capacité d'hydratation de l'aliment, potentiel de l'aliment à absorber de l'eau, pouvait améliorer le développement du tractus digestif (ex. volume du jabot chez l'oie, Arroyo *et al.*, 2014) ou l'ingestion alimentaire (ex. chez les porcs, Ndou *et al.*, 2013). D'après Quemeneur *et al.* (2013) la capacité d'hydratation est un paramètre intéressant à intégrer à la formulation d'un aliment. Des études ont montré la grande variabilité de la capacité de rétention en eau (CRE) des matières premières (MP) couramment utilisées en alimentation des volailles (Giger-Reverdin, 2000 ; Arroyo *et al.*, 2013). Cependant, bien que mesurable sur le produit fini, ce critère n'est aujourd'hui pas pris en compte dans la formulation des aliments et aucune estimation de la valeur de capacité d'hydratation d'un aliment composé n'est disponible.

L'objectif de cet essai est de vérifier si la CRE répond aux principes d'additivité et de prédictibilité sur lesquels repose la formulation en alimentation animale. Pour cela, il a été vérifié si la CRE d'un aliment granulé complet est proportionnelle au taux de MP incorporées et si elle peut être prédite à partir de la CRE des MP qui le composent.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Aliments granulés complets étudiés

Dans cette étude, 28 aliments granulés de composition connue ont été utilisés (Tableaux 1 et 2) qui ont tous été fabriqués au sein de l'unité expérimentale PECTOUL (INRA, Toulouse) à partir de 21 MP broyées préalablement à la granulation avec une grille de 5 mm de diamètre.
Afin d'étudier l'additivité de la CRE, 8 aliments, nommés aliments expérimentaux, ont été fabriqués à partir d'une base identique de MP (blé, maïs, orge, tourteau de tournesol, $CaCO_3$, NaCl ; aliment 1 du Tableau 1) à laquelle a été incorporé soit de la pulpe de betterave à un taux croissant (5, 10, 15 ou 20% ; aliments 2, 3, 4, 5 du Tableau 1, respectivement), soit 10% de coque de soja, de pulpe de citrus ou de son d'avoine (aliments 6, 7, 8 du Tableau 1, respectivement).
Afin de tester la prédictibilité de la CRE, 20 aliments granulés complets, nommés aliments référencés, réalisés préalablement à cette étude pour d'autres objectifs scientifiques ont également été analysés (aliments 9 à 28, Tableau 2). Ils ont été conservés en sachet sous vide à 4°C jusqu'à la réalisation des présentes mesures.
Les 28 aliments étudiés ici étaient composés en tout de 21 MP différentes. Pour cette étude, nous avons acquis ces 21 MP élémentaires. Les 8 aliments expérimentaux ont été fabriqués à partir de ce même lot de MP. A l'inverse, les 20 aliments référencés, qui sont préalables à cette étude, sont composés de MP qui proviennent d'autres lots de livraison (autre année et/ou date de récolte).

1.2. Mesures de capacité de rétention en eau

La CRE a été réalisée, en triplicata, sur les 21 MP, les 8 aliments expérimentaux et les 20 aliments référencés, à partir de la méthode décrite par Giger-Reverdin (2000). Dans un tube à essai, 10 mL d'eau distillée sont ajoutés à 2 g de MP ou d'aliment. Le tout est agité. Après 24h de repos à température ambiante, le tube est centrifugé (966 x *g* pendant 10 min à 20°C). Le surnageant est prélevé avant de peser le tube contenant le sédiment. Il s'agit d'une mesure de poids d'eau maximal absorbé par un échantillon. Elle est exprimée en g H_2O / g MS.

1.3 Vérification des principes d'additivité et prédictibilité

Afin de vérifier si la CRE est un critère qui répond aux principes d'additivité et de prédictibilité, la CRE mesurée sur les aliments complets a été comparée à celle prédite à partir de la CRE de chacune des matières premières qui les composent.

CRE prédite = $\sum$ CRE MP*taux d'incorporation de la MP

Les CRE des 8 aliments expérimentaux ont été comparées à l'aide d'une analyse de variance (3 répétitions de CRE par aliment). Des régressions ont été réalisées pour estimer la qualité de l'additivité et de la prédictibilité (l'aliment de base n'a pas été intégré dans les régressions).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1 Relations entre CRE des MP et CRE des aliments

Les matières premières incorporées à 10% dans les aliments expérimentaux ont des CRE très différentes 1,5, 3,1, 4,6, 5,5 g H_2O/g MS pour le son d'avoine, la pulpe de citrus, les coques de soja et la pulpe de

betterave respectivement ($P < 0,001$; Figure 1A.). La CRE des 8 aliments expérimentaux est d'autant plus élevée que la MP incorporée à une CRE élevée (aliments 3, 6, 7 et 8) ou que le taux d'incorporation de la MP augmente (aliments 2, 3, 4, et 5 ; $P < 0,001$, Figure 1B.). Ainsi, la CRE est plus élevée pour la pulpe de betterave que pour le son d'avoine (1,56 et 5,55 g H_2O/g MS, respectivement; données non montrées ; $P < 0,001$) et la CRE de l'aliment 3 qui contient 10% de pulpe de betterave est plus élevée que celle de l'aliment 8 qui contient 10% de son d'avoine (1,53 et 2,29 g H_2O/g MS, respectivement).
De plus, une augmentation du taux d'incorporation de la pulpe de betterave de 5 à 20%, entraine une augmentation de la CRE de l'aliment de 62% ($P < 0,001$, Figure 1B). La corrélation entre la CRE de l'aliment complet et le taux d'incorporation de la pulpe de betterave est très élevée (pour les 4 aliments : $R^2=0,99$, $y = 0,39 x + 1,51$; $P<0,01$). Ces éléments suggèrent que la CRE est un critère qui répond au principe d'additivité.

2.2 Comparaison des CRE réelles et prédites

Les figures 2.A1 et 2.B1 représentent les corrélations entre les valeurs de CRE réelles et prédites à partir de la valeur des ingrédients pour les aliments expérimentaux et référencés respectivement. Les corrélations entre ces 2 valeurs sont élevées ($R^2=0,89$ pour les 8 aliments expérimentaux et $R^2=0,81$ pour les 20 aliments référencés). La différence entre CRE estimée et CRE mesurée est de 10% en moyenne pour les deux types d'aliments. Ce critère peut donc être considéré comme prédictible.

Toutefois, la différence entre les CRE estimée et mesurée peut être élevée (jusqu'à 27%), d'autant plus que la MP incorporée a une forte CRE. Les CRE des aliments ayant une CRE réelle inférieure à 2 g H_2O/g MS sont généralement surestimées tandis qu'elles sont sous-estimées dans le cas inverse. De plus, la distribution des résidus est assez hétérogène et les résidus, c'est-à-dire les erreurs de prédiction, sont d'autant plus importants que la CRE de l'aliment est élevée (Figures 2.A2 et 2.B2). Certains écarts entre CRE réelle et prédite peuvent être atteindre 19% (par exemple : aliment n°5). Il est donc recommandé de confirmer les valeurs prédites par des mesures réelles.

Les écarts entre valeur réelle (mesurée) et valeur prédite (calculée) peuvent être expliqués par les caractéristiques des granulés, telles que leur composition, qui peut engendrer des interactions entre MP, leur longueur ou leur dureté (Samuelsen *et al.*, 2013). La variabilité entre les lots de récolte/fabrication pour une même matière première peut également expliquer ces écarts. Cela est démontré par une corrélation entre CRE prédite et mesurée plus faible pour les 20 aliments référencés que pour les 8 aliments expérimentaux. En effet, pour les aliments de contrôle, la prédiction a été réalisée à partir de CRE mesurée sur des MP qui ne sont pas de même lots que les MP ayant servis à la fabrication. La composition chimique des MP, notamment, la composition en fibres (telles que les NDF ou hémicellulose ; Brøkner *et al.*, 2012 ; Serena et Bach Knudsen, 2007) et la taille des particules sont également des éléments de variation de la CRE (Raghavendra *et al.*, 2006).

CONCLUSION

L'objectif de cette étude était d'analyser si la CRE répond aux principes d'additivité et de prédictibilité afin de pouvoir intégrer ce paramètre dans les critères de formulation en alimentation animale. Il a été montré que la CRE d'un granulé augmente de façon proportionnelle au taux d'incorporation d'une matière première gonflante. La CRE répond donc au principe d'additivité. La CRE d'un granulé prédite à partir de la CRE des ingrédients qui la compose est bien corrélée avec sa CRE réelle. Ce critère répond donc aussi au principe de prédictibilité. Toutefois, certains écarts entre CRE prédite et CRE mesurée peuvent être importants. Il est donc recommandé de confirmer les valeurs prédites par des mesures réelles. La variabilité de la composition des MP mais également la taille des particules, la dureté et la longueur du granulé sont des facteurs explicatifs de ces écarts qui restent encore à étudier.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'UE PECTOUL (INRA Toulouse) pour avoir fourni les MP et plus particulièrement Michel Moulis pour le broyage des MP et la fabrication des aliments expérimentaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Arroyo J., Bannelier C., Rouillon V., Ramuscello R., Fortun-Lamothe L., 2013. 10èmes JRA-PFG. La Rochelle, pp 734-738.
2. Arroyo, J., Brachet, M., Dubois, J.P., Lavigne, F., Molette, C., Bannelier, C., Fortun-Lamothe, L., 2014. Animal (sous presse)
3. Brøkner, C., Bach Knudsen, K.E., Karaman, I., Eybye, K.L., Tauson, A.H., 2012. Anim. Feed Sci. Technol. (177), 86-97.
4. Giger-Reverdin S. 2000. Anim. Feed Sci. Technol. (86), 53-69.
5. Ndou, S.P., Bakare, A.G., Chimonyo, M., 2013. Livestock Science. (155), 277–284.

6. Quemeneur, B., Le Roux, M., Magnin, M., 2013. In Proc. IFIP, INRA (Eds). 45èmes JRP, Paris, pp 197-198Raghavendra, S.N., Ramachandra Swamy, S.R., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., Sourav Kumar, Tharanathan R.N., 2006. J. Food Eng. (72), 281-286.
7. Samuelsen, T.A., Mjøsa, S.A., Oterhals, Å., 2013. Anim. Feed Sci. Technol. (179), 77-84.
8. Serena, A., Bach Knudsen, K.E., 2007. Anim. Feed Sci. Technol. (139), 109-124.

Tableau 1. Composition des 8 aliments expérimentaux

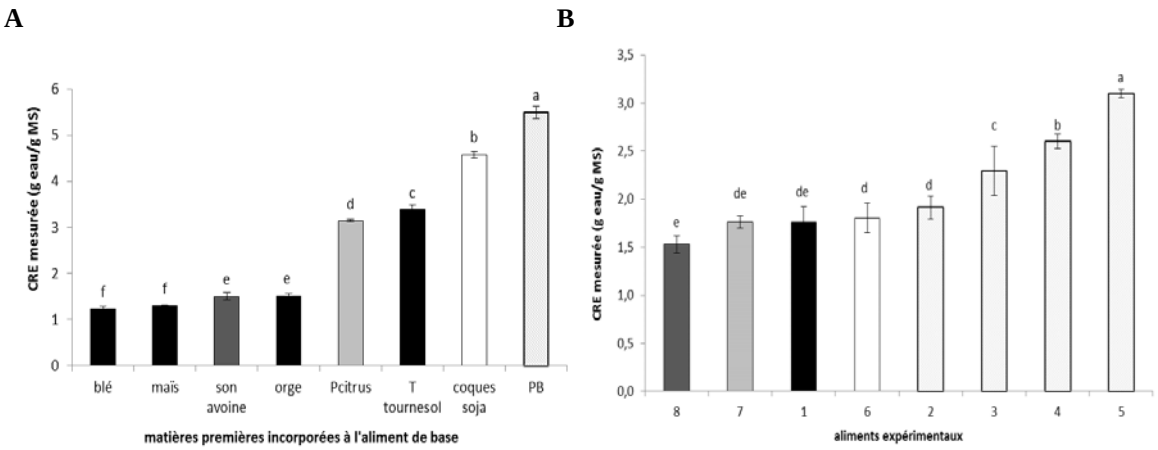
N° de l'aliment	1	2	3	4	5	6	7	8
Ingrédients (g/kg)								
Maïs	370,0	351,5	333,0	314,5	296,0	333,0	333,0	333,0
Tourteaux de tournesol	300,0	285,0	270,0	255,0	240,0	270,0	270,0	270,0
Blé	150,0	142,5	135,0	127,5	120,0	135,0	135,0	135,0
Orge	150,0	142,5	135,0	127,5	120,0	135,0	135,0	135,0
$CaCO_3$	20,0	19,0	18,0	17,0	16,0	18,0	18,0	18,0
Sel	10,0	9,5	9,0	8,5	8,0	9,0	9,0	9,0
Pulpe de betterave	-	50,0	100,0	150,0	200,0	-	-	-
Coque de soja	-	-	-	-	-	100,0	-	-
Pulpe de citrus	-	-	-	-	-	-	100,0	-
Son d'avoine	-	-	-	-	-	-	-	100,0

Tableau 2. Composition des 20 aliments référencés

	Ingrédient (g/kg)				
N° de l'aliment	Céréales	Tourteaux ou coques: coproduits	Pulpe de betterave	Luzerne déshydratée	Autre [a]
9	104	389	108	225	174
10	194	412	208	30	156
11	70	287	200	200	243
12	154	513	27	110	196
13	101	390	175	118	216
14	82	556	130	100	132
15	230	458	100	190	22
16	120	508	100	190	82
17	295	230	120	330	25
18	125	432	80	340	23
19	546	307	20	70	57
20	178	470	50	210	92
21	280	690	0	0	30
22	271	669	0	0	60
23	263	647	0	0	90
24	701	244	0	0	55
25	662	295	0	0	43
26	693	268	0	0	39
27	324	593	0	0	83
28	388	533	0	0	79

Ingrédients ayant une faible capacité d'hydratation tels que les huiles, vitamines, minéraux, marc de raisin et marc de pomme.

Figure 1. CRE mesurée des matières premières incorporées à l'aliment de base (**A**) et des 8 aliments expérimentaux (**B**)



Pcitrus : pulpe de citrus, T tournesol : tourteaux de tournesol, PB : pulpe de betterave ;
[a-e] les lettres indiquent une différence significative (P<0.05)

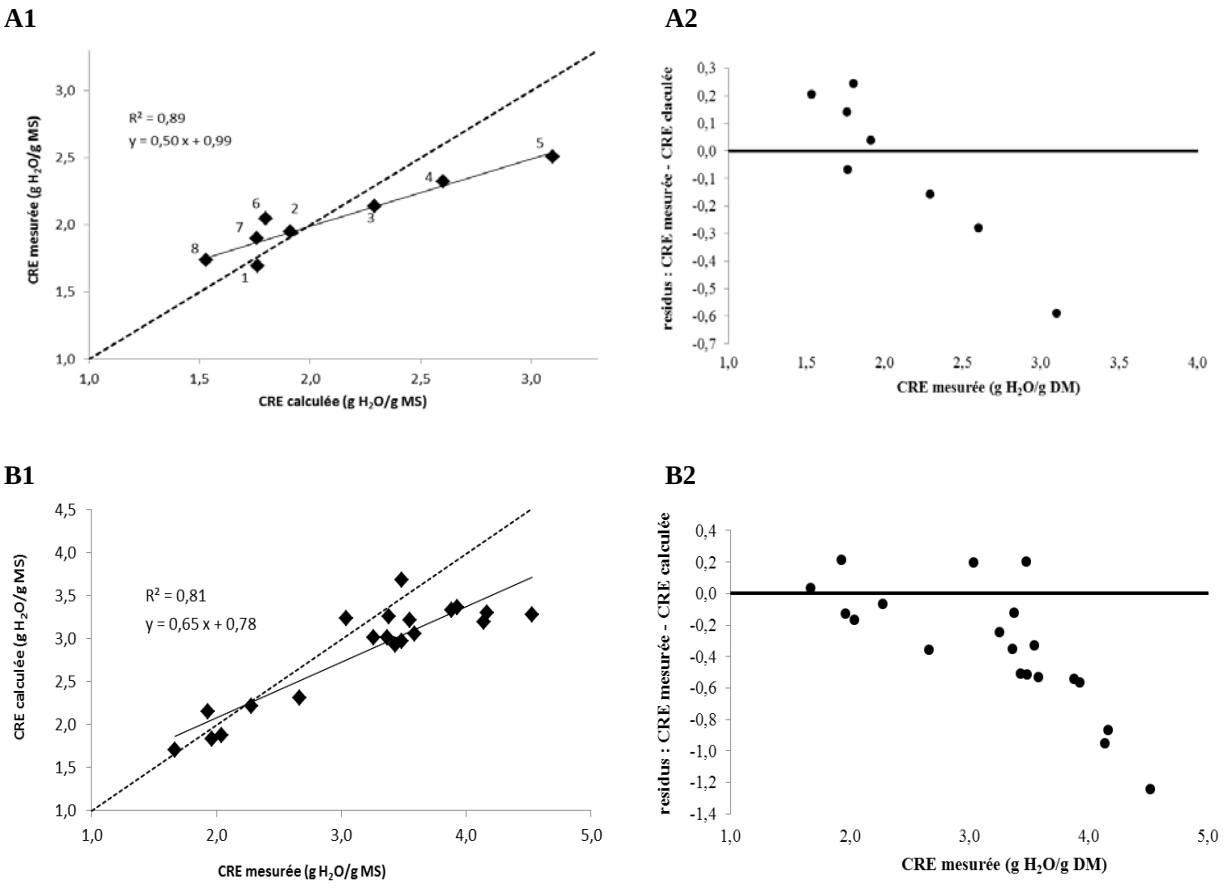



Figure 2. Prédictibilité de la CRE
A1. Relation entre CRE mesurée et CRE calculée. **A2**. Résidus (écart entre la CRE mesurée et la CRE prédite) - pour les 8 aliments expérimentaux
B1. Relation entre CRE mesurée et CRE calculée. **B2**. Résidus (écart entre la CRE mesurée et la CRE prédite) - pour les 20 aliments référencés