
Évaluation des effets des acides gras à chaîne moyenne alimentaires sur la performance de production, le microbiote intestinal et le profil en acides gras de l'œuf

RAPPORT FINAL

Rédigé par:

Daniel Rico, Ph.D., CRSAD

En collaboration avec :

J. Eduardo Rico, Ph.D, Cornell University

Hélène Lavallée, technicienne en sciences animales, CRSAD

Claudia M. Perdomo, étudiante stagiaire, CRSAD

Maiwenn Letiec, étudiante stagiaire, CRSAD

Rachel Gervais, agr. Ph.D., Université Laval

Jennifer Rhonholm, Ph.D., McGill University

Février 2018

Ce projet a été financé par le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, dans le cadre du Programme d'appui au développement de l'agriculture et de l'Agroalimentaire en région.

Québec 

TABLE DES MATIÈRES

	Pages
Introduction	1
1.1 Hypothèse.....	2
2 Matériels et méthodes	3
2.1 Microbiote des fèces	4
2.2 Analyse statistique.....	4
3 Résultats	5
3.1 Consommation, poids corporel et efficacité alimentaire.....	5
Conclusions	10
Bibliographie	12
Annexe	14

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Pages

Figure 1 :	Évolution de la consommation journalière de moulée chez les poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM	5
Figure 2 :	Évolution du poids corporel chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM.....	5
Figure 3 :	Évolution du poids de l'oeuf et du poids du jaune chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM	6
Figure 4 :	Abondance relative de groupes bactériens au niveau du phylum selon les traitements appliqués.....	8
Figure 5 :	Analyse multidimensionnelle de diversité bêta selon les traitements appliqués	9
Tableau 1 :	Taux de ponte chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM.....	6
Tableau 2 :	Paramètres de colorimétrie du jaune chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM	7
Tableau 3 :	Profil global en acides gras du jaune chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM	7

INTRODUCTION

Les acides gras à chaîne moyenne (AGCM) ont été le sujet de nombreuses études chez le rongeur (Noguchi et al., 2002; Ooyama et al., 2008; Dong et al., 2011) et les humains (Tsuji et al., 2001; Mensink et al., 2003), compte tenu de leurs potentiels effets bénéfiques sur la santé humaine, ainsi que sur le contrôle du poids et sur la prévention de l'accumulation de graisse dans le foie (ces deux derniers étant liés au syndrome métabolique). Deux options existent sur le marché en tant que sources d'AGCM, les acides gras provenant de l'huile de coco (48 % C12:0; 16 % C14:0) et l'huile de triglycérides à chaîne moyenne (C8:0 et C10:0), qui est obtenue à partir du fractionnement de l'huile de coco.

En raison de leur oxydation rapide dans le foie, les AGCM alimentaires réduisent l'accumulation de graisse corporelle, ainsi que la résistance à l'insuline et l'inflammation chez le rat (Noguchi et al., 2002; Ooyama et al., 2008). De plus, il a été constaté qu'un régime avec des AGCM durant la gestation des rats a empêché l'obésité de la progéniture à l'âge adulte, ce qui pourrait être lié à une programmation de l'expression des gènes impliqués dans le métabolisme des acides gras (Dong et al., 2011).

Chez les humains, plusieurs études ont démontré que les AGCM entraînent une perte de poids corporel et une accumulation de lipides par rapport aux acides gras à chaîne longue (Tsuji et al., 2001; Kasai et al., 2003; Zhang et al., 2010). En outre, des effets bénéfiques sur le risque de maladie cardiovasculaire ont également été démontrés. Par exemple, une méta-analyse de 60 études cliniques (Mensink et al., 2003) a démontré que les acides gras à chaîne moyenne, tels que le C12:0, réduisent le ratio cholestérol total : cholestérol HDL chez des humains en bonne santé; un effet similaire à celui des acides gras polyinsaturés.

En considérant tous les effets que les AGCM ont sur la santé humaine, on considère que le développement d'une technologie pour enrichir les œufs en AGCM à le potentiel d'aider l'industrie de l'œuf à répondre aux besoins de la population en offrant cette nouvelle option santé. Le transfert d'acides gras alimentaires à longue chaîne dans le jaune de l'œuf a déjà été démontré. Dans une expérience récente, l'ajout de 5 % d'huile de soja a entraîné une augmentation d'acides gras polyinsaturés dans les lipides du jaune d'œuf (Elkin et al., 2015). De ce fait, les AGCM pourraient aussi potentiellement être transférés dans les lipides de l'œuf, cependant, étant donné leur oxydation dans le foie en tant que source d'énergie, le niveau du transfert dans le jaune d'œuf n'est actuellement pas connu. Cette expérience pilote vise à évaluer les effets des acides gras à chaîne moyenne sur la composition du microbiote fécal et de la qualité de l'œuf.

De plus, les acides gras à chaîne moyenne ont le potentiel d'avoir des effets sur les performances de production des poules pondeuses en modifiant la composition du microbiote intestinal. Ces acides gras sont connus pour leurs effets antimicrobiens (Van Immerseel, et al., 2004) et pourraient être utilisés comme des alternatives aux antibiotiques, mais les différences existantes entre les différentes sortes d'acides gras à chaîne moyenne (TCM vs. huile de coco) n'ont pas encore été investiguées chez la poule pondeuse.

1.1 Hypothèse

Par rapport à une ration riche en lipides à longue chaîne, l'ajout d'huile de coco ou de triglycérides à chaîne moyenne à la ration de poules pondeuses augmenterait la concentration d'AGCM dans l'œuf et entraînerait des modifications dans la composition du microbiote intestinal.

2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

La ration de base contenait 17 % de protéine brute, 3 % de gras, 5 % de fibre brute, 3,5 % Ca et 0.70 % P. L'huile de canola a été choisie comme la source d'acides gras à chaîne longue (principalement C18:1) et a été ajoutée à 5% de la matière sèche de la ration de base. Les traitements ont été 1) huile de coco (source de C12:0 et C14:0) ou 2) huile triglycérides à chaîne moyenne (source de C8:0 et C10:0) ajoutés à 5 % de la ration. Douze poules pondeuses (30 semaines d'âge) ont été distribuées de façon aléatoire à l'un des deux traitements dans un dispositif en carré latin avec des mesures répétées. Les poules ont reçu la ration contenant l'huile de canola pendant les 10 j précédant le début de la première période et pendant les 10 j après (période de washout) afin de minimiser les effets résiduels entre les périodes expérimentales.

Les poules ont été logées dans un environnement sans fenêtre, en cage individuelle, dans une pièce à température ambiante de 16 à 18°C avec une humidité comprise entre 50 et 75 %. Le temps d'éclairage a été au minimum de 14h par jour et l'eau a été distribuée à volonté afin de stimuler la ponte des œufs. (EQCMA, 2013). De plus, l'offre journalière de moulée a aussi été à volonté (de 110 % par rapport à la consommation de la journée précédente).

Les poules ont été pesées au début (j0 de chaque période) et à la fin (j12 de chaque période) de l'essai. Aussi, la production et le poids des œufs, ainsi que la consommation alimentaire des poules ont été notées.

Les œufs ont été ramassés à 10h00 aux jours 0, 3, 6, 9, 12 de chaque période et entreposés dans un réfrigérateur (4°C) afin de les conserver avant analyse. Au moment de l'échantillonnage, chaque œuf a été pesé puis cassé sur une surface plane. Le jaune et le blanc ont été séparés à l'aide d'une passoire. Le poids du jaune d'œuf a été déterminé après que la chalaze ait été retirée avec une pince. Chaque jaune a été roulé sur une serviette en papier pour éliminer le surplus d'albumine. La couleur du jaune a été déterminée à 21°C sur des échantillons collectés au jour 11 de chaque période en utilisant un chromamètre (Minolta CR-300, Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japon) pour déterminer sa légèreté, sa couleur vert-rouge et sa couleur bleu-jaune selon la méthode décrite par Nozière et al. (2006).

Après lyophilisation des jaunes et par la suite, une extraction et méthylation des acides gras, le profil en acides gras des œufs a été déterminé à l'aide d'un chromatographe à phase gazeuse Agilent 7820A (Agilent Technologies Canada, Mississauga, ON, Canada) muni d'un détecteur à flamme et d'une colonne capillaire (HP-INNOWax, longueur : 30 m, diamètre interne : 0.32 mm, épaisseur du film :

0.25µm; Agilent Technologies Canada). La température de l'injecteur était maintenue à 240°C et celle du détecteur à 250°C. Le rapport de division de l'injecteur était de 50:1. Au moment de l'injection, le four était à 185°C, et ce, pour 30 secondes. Par la suite, la température était augmentée au taux de 3°C/minute jusqu'à 220°C et ensuite maintenue isotherme pendant 13 minutes. Le gaz porteur était l'hydrogène. Les esters méthyliques d'acides gras ont été identifiés par comparaison avec les temps de rétention d'un standard commercial (GLC-463, Nucheck prep, Inc. MN, USA). La teneur en acide gras du jaune d'œuf a été calculée en fonction de la concentration (mg / g) = surface du pic d'un acide gras donné × concentration de l'étalon interne (mg / mL) / surface du pic de l'étalon interne / poids de l'échantillon (Wang et al., 2000).

2.1 Microbiote des fèces

Les fèces de chaque poule ont été échantillonnées sur un papier ciré entre 9h00 et 10h00 aux jours 0, 6 et 12 de chaque période. Les fèces ont été transférées dans des tubes de 50 ml et congelées à -80°C pour l'analyse ultérieure des populations bactériennes du contenu fécal. L'ADN fécal a été extrait et purifié tel que décrit par Rico et al. (2015).

Les régions variables V3-V4 des gènes ARNr 16S bactériens ont été couvertes par amplification PCR en utilisant les amorces de fusion avec des adaptateurs de séquençage Illumina. Le séquençage à haut débit a été réalisé avec un instrument MiSeq (Université McGill, Ste-Anne de Bellevue, QC, Canada). Les séquences par paires appariées ont été démultiplexées et jointes. Après prétraitement et filtrage, les séquences sélectionnées ont été regroupées en UTO (Unités taxonomiques opérationnelles) à l'aide du logiciel Mothur 1.40.0 (Schloss et al., 2009). Chaque UTO détectée a été comparée avec les valeurs de la base de données Silva version 13.8 (Quast et al., 2013; Yilmaz et al., 2014). L'analyse statistique des profils de la diversité des bactéries a été évaluée avec l'indice de diversité Simpson et la diversité bêta, par analyse multidimensionnelle (nmds), en utilisant le logiciel Phyloseq R.

2.2 Analyse statistique

Les données ont été analysées à partir de la procédure MIXED de SAS (version 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, États-Unis) selon un dispositif en mesures répétées. Le modèle incluait les effets aléatoires de la poule et de la période alors que le traitement, le temps et leur interaction étaient considérés comme des effets fixes. Le facteur temps a été la mesure répétée et l'interaction poule x traitement était le sujet. La méthode Kenward-Rogers a été utilisée pour ajuster les degrés de liberté du dénominateur et on a utilisé la structure de covariance de AR (1).

3 RÉSULTATS

3.1 Consommation, poids corporel et efficacité alimentaire

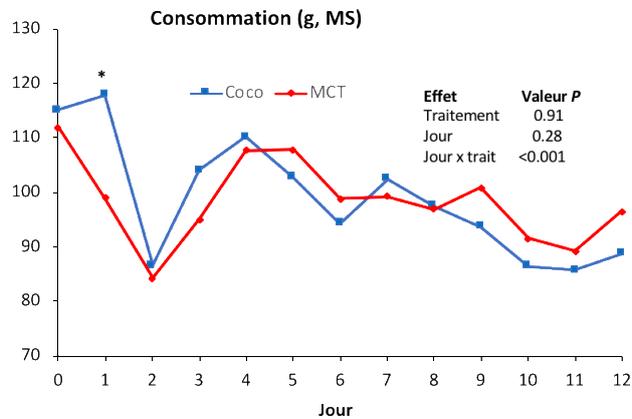


Figure 1 : Évolution de la consommation journalière de moulée chez les poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM. * $P < 0.05$

La prise alimentaire a diminué avec le temps; elle était plus élevée avec le traitement d'huile de coco au jour 1 ($P < 0,05$) et n'était pas différente entre les traitements par la suite. L'apport initial peut refléter l'adaptation au nouveau régime alimentaire, mais des valeurs stables de consommation du j 10 à 12 suggèrent que par rapport au j0, lorsque les animaux recevaient le régime alimentaire d'huile de canola, le TCM et le Coco ont réduit la consommation de matière sèche, de façon similaire à des études chez le rongeur, dans lesquelles la réduction de la consommation était expliquée par une augmentation de la satiété (St-Onge et Jones, 2002).

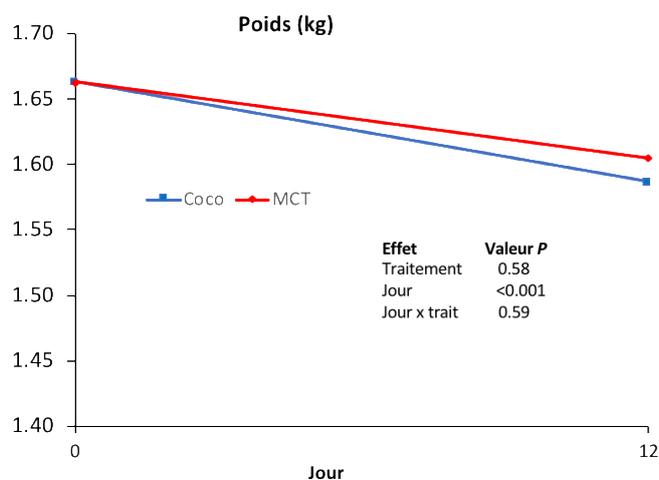


Figure 2 : Évolution du poids corporel chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM

Comparativement au j0, lorsque les poules ont reçu de l'huile de canola, les poules des deux traitements ont perdu du poids au jour 12 (figure 2, effet du temps= $P > 0,001$), mais aucune différence n'a été détectée entre les traitements. La perte de poids observée dans notre étude pourrait être liée deux facteurs : 1) une réduction de l'apport alimentaire et 2) une augmentation des dépenses énergétiques entraînée par les AGCM (Papamandjaris et al., 1998).

Tableau 1 : Taux de ponte chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM

Variable1	Traitement		Erreur type	Valeur P
	TCM	Coco		
Taux de ponte (%)	89.7	87.2	4.8	0.68

Le taux de ponte (Tableau 1) était en moyenne de 89,7 % avec l'huile de TCM et de 87,2 % avec l'huile de coco, mais il n'était pas significativement différent. En outre, le poids des œufs a augmenté de d 0 à d 6 et est resté stable par la suite (Figure 3), ce qui suggère que la perte de poids observée coïncide avec des demandes énergétiques plus élevées pour la production d'œufs. Le poids du jaune est resté relativement stable au cours du temps et n'a pas différencié entre les traitements (Figure 3).

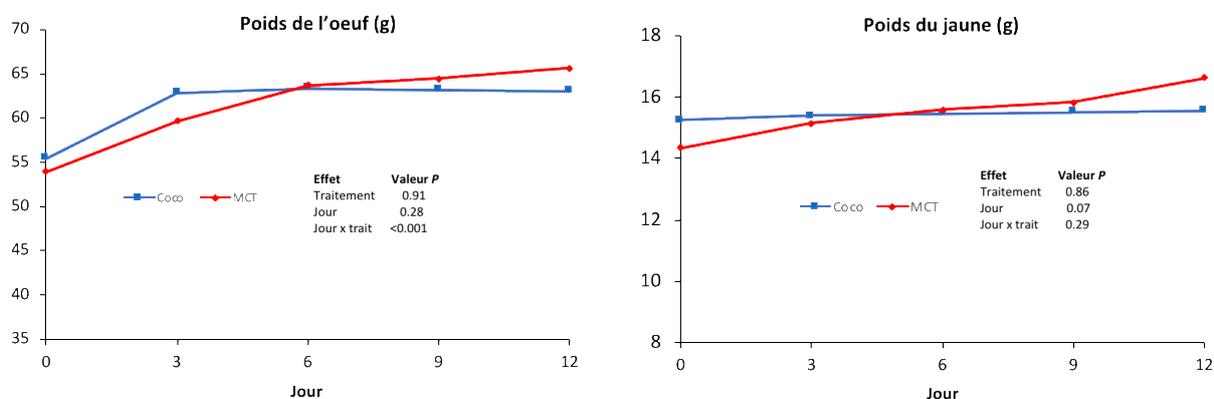


Figure 3 : Évolution du poids de l'œuf et du poids du jaune chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM

Les consommateurs considèrent la couleur du jaune d'œuf comme un paramètre important pour déterminer sa qualité (Spada et al., 2016). Nous n'avons pas observé d'effets des traitements sur la couleur des œufs en termes d'intensité des blancs (L^*) et des jaunes (b^* ; Tableau 2) mais le traitement à l'huile de coco a présenté des valeurs plus faibles dans l'échelle rouge-vert (a , $P = 0,01$). Les valeurs de couleur a^* de cette expérience sont inférieures à celles rapportées précédemment (Kopriva et al., 2014), mais dans la gamme de valeurs attendues dans l'œuf (Spada et al., 2016). Les différences entre

notre étude et les rapports précédents peuvent être liées à la présence d'huile dans les deux traitements qui ont remplacé une partie du maïs, une source de caroténoïdes dans l'œuf.

Tableau 2 : Paramètres de colorimétrie du jaune chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM

Variable ¹	Traitement		Erreur type	Valeur P
	TCM	Coco		
a ¹	-0.03	-0.94	0.21	0.01
L ²	54.50	54.69	0.40	0.71
b ³	44.95	44.23	0.54	0.35

¹a* détermine l'intensité dans l'échelle colorimétrique vert-rouge (+ = plus rouge, - = plus vert)

L* détermine intensité dans l'échelle colorimétrique blanc-noir (+ = plus claire, - = plus sombre)

b* détermine intensité dans l'échelle colorimétrique jaune-bleu (+ = plus jaune, - = plus bleu)

Tableau 3 : Profil global en acides gras du jaune chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM

Acide gras, %	Jour	TCM	Coco	ET	Valeur P			
					trt	Jour	Trt x Jour	Coco vs. TCM
Somme < 16C	0	1.22	0.56	0.48	0.71	<0.001	0.15	0.20
	12	2.40	2.80					0.43
Somme 16C	0	26.68	26.69	0.23	0.69	<0.001	0.72	0.97
	12	30.07	30.24					0.60
Somme > 16C	J0	72.39	72.47	0.53	0.54	<0.001	0.44	0.91
	J12	67.59	66.87					0.33

La somme de AG <16 carbones (C8:0, C10:0, C12:0 et C14:0) représente tous les acides gras à chaîne moyenne dans l'œuf, et bien que non affecté par le traitement, elle a augmenté de 293 % du j 0 au j 12 (effet du temps P <0,001, Tableau 3). Cette observation pourrait être le résultat d'une augmentation des AGCM dans la ration, ce qui suggère que par rapport au régime avec l'huile de canola, l'inclusion de TCM et d'huile de noix de coco a augmenté le transfert des AGCM dans les jaunes d'œufs. De même, la somme des acides gras à 16 carbones a augmenté dans les deux traitements de 113 % par rapport au jour 0. Par contre, la somme des acides gras > 16 carbones (18:0, 18:1, 18:2 et 18:3) a diminué du jour 0 au jour 12 dans les deux traitements. Cela pourrait s'expliquer par la diminution de l'apport d'acides gras à longue chaîne après le j 0. Le tissu adipeux est riche en acides gras à longue chaîne, cependant, malgré la plus forte mobilisation de tissu adipeux (attendue de la perte de poids observée), la teneur de ces AG dans l'œuf a diminué de 7 %. Ces résultats démontrent que le profil global des

acides gras des jaunes d'œufs peut être modifié en remplaçant les lipides à chaîne longue par des lipides à chaînes plus courtes. Cependant, malgré l'augmentation de l'AGCM dans les œufs par rapport à l'huile de canola, la concentration totale est restée inférieure à 3 % des acides gras totaux, ce qui suggère des niveaux élevés d'oxydation de ces lipides dans le foie et une faible incorporation dans les lipides du jaune d'œuf.

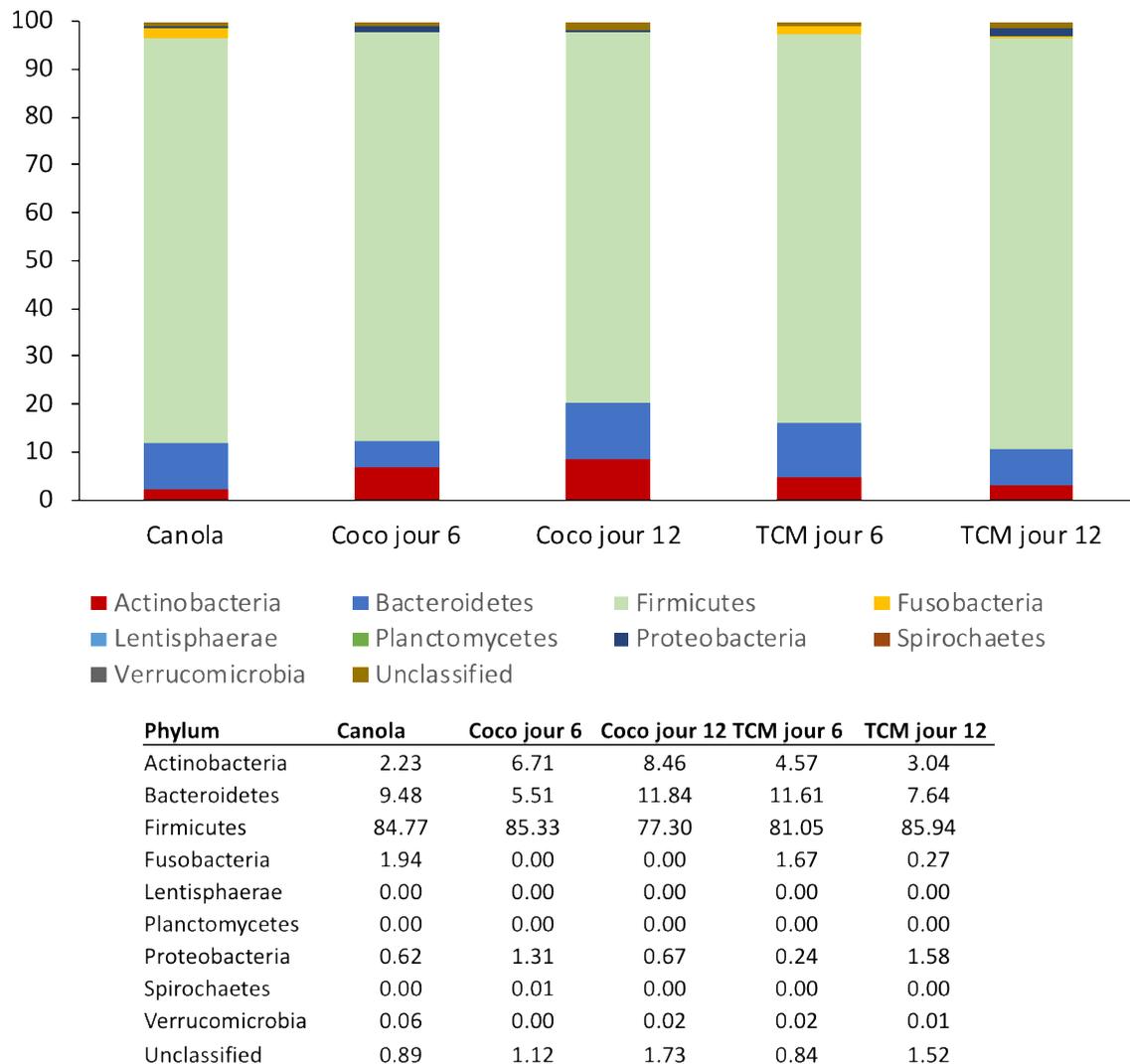


Figure 4 : Abondance relative de groupes bactériens au niveau du phylum selon les traitements appliqués

Relativement à l'alimentation en huile de canola, l'huile de coco a entraîné une augmentation progressive du phylum Actinobacteria, alors qu'il n'a pas été affecté par le TCM (figure 4). Le phylum Bacteroidetes n'a pas été significativement différent entre les traitements. Comme dans des études précédentes (Waite et Taylor, 2015), les bactéries appartenant au phylum Firmicutes étaient le type prédominant dans tous les traitements (77 à 86 %) et ont diminué au j 12 avec l'huile de coco par

rapport au TCM. Fait important, par rapport à l'huile de canola, l'alimentation à l'huile de noix de coco a réduit la présence du phylum Fusobacteria au jour 6 et est demeurée faible jusqu'au jour 12. De même, cette réduction a été observée avec l'alimentation TCM, mais seulement au j 12. Il a été démontré que le phylum Fusobacteria est associé à une maladie métabolique chez l'humain, en particulier à l'obésité (Andoh et al., 2016). Un effet toxique potentiel de l'AGCM sur ce groupe de bactéries peut être en partie lié à la perte de poids observée dans cette étude. Toutefois, ce devrait être directement testé dans de futures expériences avec des périodes expérimentales plus longues et un plus grand nombre d'animaux. D'autres phylums tels que Lentisphaerae, protéobactéries, Spirochaetes et Verrucomicrobia, n'ont pas été significativement affectés par les huiles alimentaires.

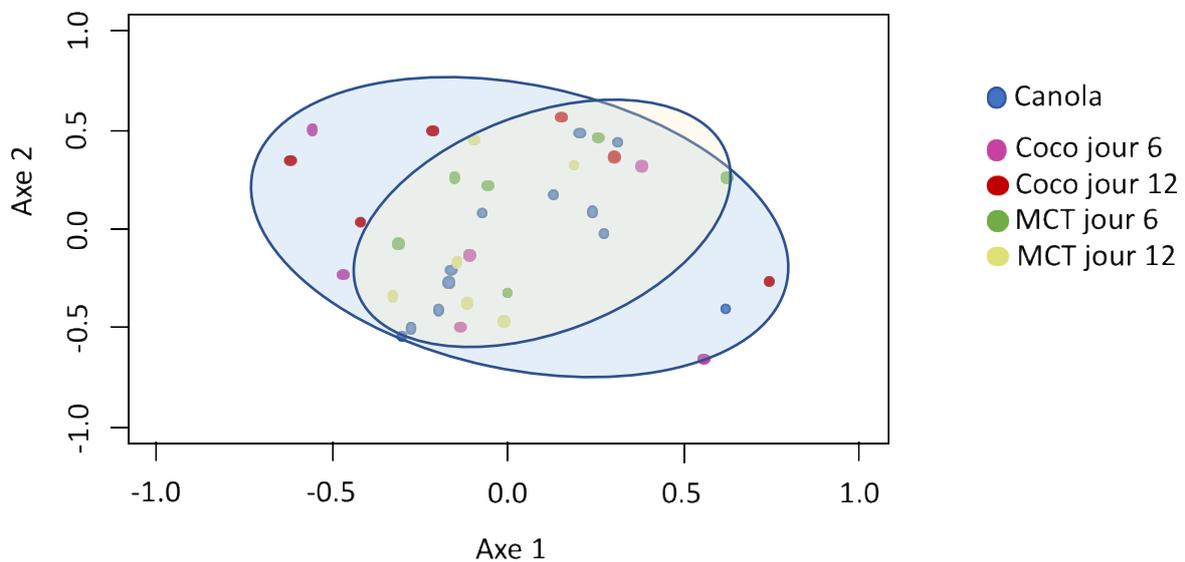


Figure 5 : Analyse multidimensionnelle de diversité bêta selon les traitements appliqués

L'analyse multidimensionnelle de la diversité bêta (Figure 5) n'a pas montré de différenciation claire des taxons bactériens dans les deux axes, cependant, les traitements de canola et de TCM sont regroupés plus près du centre, tandis que l'huile de coco présente une plus grande dispersion.

CONCLUSIONS

La supplémentation en acides gras à chaîne moyenne (huile de coco et huile de TCM) a diminué l'ingestion de matière sèche par rapport à la supplémentation en huile de canola, mais n'a eu aucun impact sur les paramètres de production de poules pondeuses à court terme. Les réductions du poids corporel observées dans cette étude pourraient s'expliquer par une réduction de la prise alimentaire et possiblement par l'augmentation de l'oxydation des réserves de tissus adipeux. La supplémentation de diètes avec 5% d'AGCM a augmenté leur concentration dans les lipides du jaune d'œuf et a diminué les concentrations des acides à chaîne longue malgré la perte de poids corporel observée. Cependant, l'augmentation des AGCM dans le jaune d'œuf n'était pas d'une ampleur suffisante pour considérer ces œufs comme une source importante d'AGCM dans l'alimentation humaine. Une raison possible à cela est l'oxydation de ces acides gras dans le foie, ce qui réduirait leur transfert dans les lipides du jaune d'œuf. La couleur du jaune d'œuf n'était que légèrement différente entre les deux types de suppléments d'AGCM (échelle vert-rouge), mais cette observation devrait être considérée lors de l'utilisation de ces types de lipides alimentaires compte tenu que la perception de qualité de l'œuf est influencé par la couleur du jaune.

Enfin, des changements globaux dans les populations microbiennes fécales ont également été observés en réponse à l'alimentation de l'AGCM, en particulier des réductions de *Fusobacteria*, une communauté de bactéries normalement liées à l'obésité chez les sujets humains. L'huile de noix de coco semble provoquer une diminution plus rapide de *Fusobacteria*, cependant une telle réduction a également été atteinte par l'alimentation TCM à la fin de la période d'essai.

L'alimentation à court terme (12 j) de l'AGCM a influé sur la consommation alimentaire, la couleur du jaune d'œuf, le profil lipidique global et la composition des communautés bactériennes fécales. Des études à long terme sont recommandées afin d'étudier les effets de ces types de lipides dans l'alimentation de poules pondeuses pendant tout le cycle de production, car des périodes prolongées de perte de poids peuvent être préjudiciables à la production d'œufs.

BIBLIOGRAPHIE

Andoh, A., Nishida, A., Takahashi, K., Inatomi, O., Imaeda, H., Bamba, S., Kito, K., Sugimoto, M., Kobayashi, T. 2016. Comparison of the gut microbial community between obese and lean peoples using 16S gene sequencing in a Japanese population. *Journal of clinical biochemistry and nutrition*, 59, 65-70.

Dong, Y. M., Y. Li, H. Ning, C. Wang, J. R. Liu, and C. H. Sun. 2011. High dietary intake of medium-chain fatty acids during pregnancy in rats prevents later-life obesity in their offspring. *The Journal of nutritional biochemistry* 22(8):791-797

Elkin. R.G, Ying.Y , Harvatine. K.J. 2015. Feeding Laying Hens Stearidonic Acid-Enriched Soybean Oil, as Compared to Flaxseed Oil, More Efficiently Enriches Eggs with Very Long-Chain n- 3 Polyunsaturated Fatty Acids. *J. Agric. Food Chem* 63, 2789–2797

Fauteux, M.-C., Gervais R., Rico, D.E. Lebeuf, Y. Chouinard, P.Y. 2016. Production, composition, and oxidative stability of milk highly enriched in polyunsaturated fatty acids from dairy cows fed alfalfa protein concentrate or supplemental vitamin E. *J. Dairy Sci.* 99:4411-4426

Kasai, M., N. Nosaka, H. Maki, S. Negishi, T. Aoyama, M. Nakamura, Y. Suzuki, H. Tsuji, H. Uto, M. Okazaki, and K. Kondo. 2003. Effect of dietary medium- and long-chain triacylglycerols (MLCT) on accumulation of body fat in healthy humans. *Asia Pac J Clin Nutr* 12(2):151-160

Mensink, R. P., P. L. Zock, A. D. Kester, and M. B. Katan. 2003. Effects of dietary fatty acids and carbohydrates on the ratio of serum total to HDL cholesterol and on serum lipids and apolipoproteins: a meta-analysis of 60 controlled trials. *Am. J. Clin. Nutr.* 77(5):1146-1155

Noguchi, O., Takeuchi, H., Kubota, F., Tsuji, H. et Aoyama, T. 2002 Larger Diet-Induced Thermogenesis and Less Body Fat Accumulation in Rats Fed Medium-Chain Triacylglycerols Than in Those Fed Long-Chain Triacylglycerols. *Journal of nutritional science and vitaminology* 48: 524-29.

Ooyama, K., Wu, J., Nosaka, N., Aoyama, T., et Kasai M. 2008. Combined Intervention of Medium-Chain Triacylglycerol Diet and Exercise Reduces Body Fat Mass and Enhances Energy Expenditure in Rats. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 54: 136-41.

Quast C, Pruesse E, Yilmaz P, Gerken J, Schweer T, Yarza P, Peplies J, Glöckner FO (2013) The SILVA ribosomal RNA gene database project: improved data processing and web-based tools. *Opens external link in new window* *Nucl. Acids Res.* 41 (D1): D590-D596.

Rico, D.E. S.H. Preston, J.M. Risser, K.J. Harvatine. 2015 Key rumen microbial populations are rapidly changed during induction of and recovery from diet-induced milk fat depression in dairy cows. *B. J. Nut.* 114: 358–67.

Roch, G. Couture, C. Boulianne, M. 2013. Guide d'élevage de volailles de basse-cour. EQCMA

Schloss, P.D., et al., Introducing mothur: Open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. *Appl Environ Microbiol*, 2009. 75(23):7537-41

Spada F. P., Selani M. M., Coelho, A. A. D., Savino V. J. M., Rodella A. A., Souza M. C., Fischer F. S., Lemes D. E. A., Canniatti-Brazaca S. G. 2016. Influence of natural and synthetic carotenoids on the color of egg yolk. *Scientia Agricola*, 73(3), 234-242

St-Onge, M. P., & Jones, P. J. (2002). Physiological effects of medium-chain triglycerides: potential agents in the prevention of obesity. *The Journal of nutrition*, 132(3), 329-332.

Tsuji, H., M. Kasai, H. Takeuchi, M. Nakamura, M. Okazaki, and K. Kondo. 2001. Dietary medium-chain triacylglycerols suppress accumulation of body fat in a double-blind, controlled trial in healthy men and women. *J. Nutr.* 131(11):2853-2859

Van Immerseel F, De Buck J, Boyen F, et al. 2004. Medium-Chain Fatty Acids Decrease Colonization and Invasion through hila Suppression Shortly after Infection of Chickens with *Salmonella enterica* Serovar Enteritidis. *Applied and Environmental Microbiology*.70:3582-3587

Waite, D. W., & Taylor, M. (2015). Exploring the avian gut microbiota: current trends and future directions. *Frontiers in microbiology*, 6, 673.

Wang. Y, Sunwoo. H, Cherian. G , Sim. J.S. 2000. Fatty Acid Determination in Chicken Egg Yolk: A Comparison of Different Methods. *Poultry Science* 79:1168–1171

Yilmaz P, Parfrey LW, Yarza P, Gerken J, Pruesse E, Quast C, Schweer T, Peplies J, Ludwig W, Glöckner FO (2014) The SILVA and "All-species Living Tree Project (LTP)" taxonomic frameworks.

Zhang, Y., Y. Liu, J. Wang, R. Zhang, H. Jing, X. Yu, Y. Zhang, Q. Xu, J. Zhang, Z. Zheng, N. Nosaka, C. Arai, M. Kasai, T. Aoyama, J. Wu, and C. Xue. 2010. Medium- and Long-Chain Triacylglycerols Reduce Body Fat and Blood Triacylglycerols in Hypertriacylglycerolemic, Overweight but not Obese, Chinese Individuals. *Lipids* 45(6):501-510

Papamandjaris, A. A., MacDougall, D. E., & Jones, P. J. (1998). Medium chain fatty acid metabolism and energy expenditure: obesity treatment implications. *Life sciences*, 62(14), 1203-1215.

ANNEXE

Tableau Annexe 1. Profil détaillé des acides gras du jaune chez des poules recevant des rations contenant de l'huile de coco ou de l'huile de TCM

Acide gras	Jour	TCM	Coco	SE	Valeur P			
					trt	Jour	Trt x Jour	Coco vs. TCM
C8:0	0	0.13	0.18	0.05	0.68	0.62	0.20	0.47
	12	0.17	0.09					0.22
C10:0	0	0.04	0.05	0.01	0.16	0.00	0.11	0.90
	12	0.12	0.07					0.04
C12:0	0	0.14	0.03	0.11	0.14	0.00	0.03	0.02
	12	0.22	0.24					0.74
C14:0	0	1.22	0.09	0.69	0.30	<0.001	0.01	0.02
	12	1.95	0.34					0.34
C16:0	0	24.60	24.61	0.16	0.82	<.0001	0.73	0.94
	12	27.34	27.26					0.70
C16:1	0	2.09	2.09	0.11	0.24	<.0001	0.23	1.00
	12	2.73	2.99					0.10
C18:0	0	9.00	8.85	0.31	0.05	0.09	0.17	0.72
	12	9.99	8.95					0.02
C18:1 <i>cis</i> 9	0	44.39	44.84	0.55	0.60	<.0001	0.76	0.55
	12	38.73	38.86					0.87
C18:1 <i>cis</i> 11	0	1.59	1.53	0.15	0.91	0.81	0.76	0.73
	12	1.50	1.54					0.82
C18:2 <i>cis</i> 9, <i>cis</i> 12	0	16.02	16.04	0.40	0.70	0.05	0.78	0.96
	12	16.51	16.69					0.64
C18:3 <i>cis</i> 9, <i>cis</i> 12, <i>cis</i> 15	0	1.02	1.02	0.03	0.67	<.0001	0.84	0.92
	12	0.57	0.55					0.69
Non-identifiés	0	0.27	0.28	0.02	0.93	0.84	0.84	0.94
	12	0.27	0.27					0.85
Somme < 16C	0	1.22	0.56	0.48	0.71	<.0001	0.15	0.20
	12	2.40	2.80					0.43
Somme 16C	0	26.68	26.69	0.23	0.69	<.0001	0.72	0.97

	12	30.07	30.24					0.60
Somme > 16C	J0	72.39	72.47					0.91
	J12	67.59	66.87	0.53	0.54	<.0001	0.44	0.33
