

# Effet des rations alimentaires contenant de cossette de *Dioscorea dumetorum* (Kunth) Pax sur les qualités physiques internes et biochimiques des œufs des poules pondeuses

Akadiri Faride Jospin<sup>1</sup>, Aboh André Boya<sup>1</sup>, Mensah Serge Egide Paulin<sup>2</sup>, Olounlade Pascal Abiodoun<sup>1</sup>, Houndonougbo Frédéric Mankpondji<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences Animale et Halieutique (LaSAH), École de Gestion et d'Exploitation des Systèmes d'Élevage (EGESE), Université Nationale d'Agriculture (UNA), BP 43 Kétou, Bénin,

<sup>2</sup> Institut national des recherches agricoles du Bénin, Centre de recherches agricoles d'Agonkanmey, Laboratoire des recherches zootechnique, vétérinaire et halieutique (INRAB/CRA-Agonkanmey/LRZVH), 01BP884 Recette Principale Cotonou, Bénin.

<sup>3</sup>Houndonougbo M. Frédéric, Laboratoire de Recherche Avicole et de Zoo-Économie (LARAIZE), Faculté des Sciences Agronomiques (FSA), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01 BP 526 Cotonou, Bénin.

[aboh.solex@gmail.com](mailto:aboh.solex@gmail.com)

**Mots clés :** alimentation des poulets, caroténoïdes, cholestérol, *Dioscorea dumetorum*, œufs,

**Keywords:** carotenoids, cholesterol, *Dioscorea dumetorum*, eggs, poultry feeding

Submission 3/12/2021, Publication date 28/02/2022, <http://m.elewa.org/Journals/about-japs/>

## 1 RESUME

La présente étude visait à évaluer les effets de l'utilisation de cossette de *Dioscorea dumetorum* (CDD) ou l'igname trifoliée comme source d'énergie, antioxydant naturel et agent jaunissant dans l'alimentation des poules pondeuses sur la qualité des œufs.

L'expérimentation a porté sur des œufs issus des régimes contenant 0% (R0-A), 4% (R4-A), 8% (R8-A) et 12% (R12-A) de CDD sans antioxydant synthétique, R0+A+J avec supplémentation en antioxydant et agent jaunissant de synthèse et R8-A+J/2 avec supplémentation de 1/2 dose d'agent jaunissant de synthèse. La proportion de jaune d'œuf était plus élevée (23,63 à 30,40 %) ( $p < 0,05$ ) pour les poules nourries avec le régime R12-A. Cependant, la proportion de blanc d'œuf et la valeur de l'unité Haugh pour ces poules nourries au R12-A étaient plus faibles. Le jaune d'œuf des poules nourries avec le régime contenant de CDD est plus coloré que celui des œufs des poules recevant le régime R0-A quel que soit le taux d'incorporation. De plus, la pigmentation et la teneur en caroténoïdes totaux étaient plus élevées ( $p < 0,001$ ) dans les œufs des poules nourries avec le régime R0+A+J suivi de celles nourries avec les régimes R12-A et R8-A + J/2. Les taux de cholestérol total (3,53 à 10,18 mg/g) étaient plus faibles ( $p < 0,001$ ) dans le jaune d'œuf des poules nourries avec les régimes R0+A+J et R12-A.

La CDD peut être un ingrédient énergétique alternatif pour l'alimentation animale et peut être utilisé pour produire des œufs de poules à faible teneur en cholestérol pour le bien-être des consommateurs. Les taux d'incorporation de 12% et 8% de CDD dans l'alimentation induisent des effets positifs du potentiel antioxydant sur le cholestérol total et la pigmentation du jaune d'œuf.

## Effect of diets containing *Dioscorea dumetorum* (Kunth) Pax chips on egg physical and biochemical qualities from layer hens

### ABSTRACT

The present study aimed to assess the effects of using *Dioscorea dumetorum* chips (CDD) or trifoliate yams as an energy source, natural antioxidant and yellowing agent in the diet of laying hens on egg quality. The experimentation involved eggs from diets containing 0% (R0-A), 4% (R4-A), 8% (R8-A) and 12% (R12-A) of the CDD without synthetic antioxidant, R0+A+J with supplementation of synthetic antioxidant and synthetic yellowing agent and R8-A+J/2 with supplementation of ½ dose of synthetic yellowing agent. The proportion of egg yolk was higher (23.63 to 30.40%) ( $p < 0.05$ ) for hen fed diet R12-A. However, the proportion of egg white and the Haugh Unit value for these hen fed R12-A diets were lower. The egg yolk from hens fed the diet containing CDD is more colorful than that of eggs from hens given the R0-A diet regardless of the incorporation rate. In addition, the pigmentation and total carotenoid content were higher ( $p < 0.001$ ) in the eggs of the hens fed R0+A+J diet followed by those fed diets of R12-A and R8-A+J/2. Total cholesterol levels (3.53 to 10.18 mg / g) were lower ( $p < 0.001$ ) in egg yolk from hens fed the R0+A+J and R12-A diets. The CDD can be an alternative feed energy ingredient and can be used to produce chicken eggs with low cholesterol content for the well-being of consumers. The incorporation rates of 12% and 8% CDD in the diet induce positive effects of antioxidant potential on total cholesterol and the pigmentation of the egg yolk.

## 2 INTRODUCTION

L'œuf constitue une excellente source de protéines accessible à moindre coût. Sa consommation ne fait l'objet d'aucune restriction religieuse dans le monde (Abeyrathne *et al.*, 2013). La couleur du jaune d'œuf (vitellus) est un paramètre clé de la qualité et du choix de l'œuf par les consommateurs (Beardsworth & Hernandez 2004 ; Englmaierová *et al.*, 2014 ; Lemahieu *et al.*, 2014). Pour améliorer la couleur du jaune d'œuf, afin de satisfaire cette préférence des consommateurs, les industries agro-alimentaires ajoutent généralement des jaunissants de synthèse dans l'aliment des poules pondeuses (Surai, 2002). Cependant, ces jaunissants de synthèse sont coûteux (Moreno *et al.*, 2020) et ont une limite maximale admissible dans l'alimentation à cause de leur impact négatif probable sur la santé humaine (Miranda, 2015). Les jaunissants qui donnent une couleur jaune ou orange au jaune d'œuf appartiennent au groupe xanthophylles dont les plus importantes pour la coloration du vitellus sont la zéaxanthine et la lutéine (Zaheer, 2017). Les pigments caroténoïdes sont largement répandus dans le règne végétal, également présents dans les

bactéries, les levures, les moisissures et les champignons (Nabi, 2020). Bien que les caroténoïdes ne puissent pas être synthétisés naturellement par le corps humain et animal, ils sont présents dans les tissus humains et animaux car ils sont absorbés et déposés dans le corps par la prise alimentaire (Singh *et al.*, 2015 ; Nys *et al.*, 2018). Les ingrédients alimentaires à forte concentration en jaunissants naturels, sont peu nombreux parmi ceux couramment utilisés dans la nutrition de la volaille ; alors qu'ils sont recherchés pour produire des œufs entièrement naturels au profit des consommateurs. Selon Surai *et al.* (2001), ces caroténoïdes alimentaires déterminent la concentration de caroténoïdes dans le jaune d'œuf. Ainsi, l'incorporation des matières premières riches en caroténoïdes dans la ration alimentaire des poules pondeuses constituerait une alternative. Par ailleurs, le jaune d'œuf de poule contient des protéines et des vitamines mais aussi des lipides qui sont riches en cholestérols totaux, (Wang & Pan, 2003 ; Nys *et al.*, 2018). Il a été rapporté qu'une concentration excessive de cholestérol total plasmatique et des lipoprotéines de basse densité

(LDL) dans l'œuf peut favoriser une maladie cardiovasculaire ou la mort du consommateur (Applegate, 2000 ; Miranda *et al.*, 2015; Nys *et al.*, 2018). D'un point de vue nutritionnel, la preuve a été d'établir que les œufs ne sont pas « mauvais » (Griffin, 2016). Cet auteur rapporte qu'après 60 ans de recherche, qu'un consensus général a été atteint sur le fait que le cholestérol alimentaire, provenant principalement des œufs, exerce un effet relativement faible sur le cholestérol LDL sérique et le risque de maladies cardiovasculaires, en comparaison avec d'autres facteurs liés à l'alimentation et au mode de vie. Selon Wang & Pan (2003), la teneur en cholestérol dans les œufs représente plus de 50% de l'apport quotidien chez les consommateurs et ne stimule pas à la consommation de beaucoup d'œufs à cause de son effet néfaste sur la santé humaine. Ainsi, les consommateurs contrôlent leur santé et réduisent leur consommation d'aliments riches en cholestérol. Cependant, la teneur en cholestérol des œufs peut être réduite au moyen de sélection génétique, de modification du régime alimentaire ou pharmacologique (Elkin, 2006; Nys *et al.*, 2018). Ainsi, dans le souci de réduire le taux de cholestérol dans l'œuf, des plantes et épices ont été utilisées dans l'alimentation des poules pondeuses ces dernières années (Mottaghtalab

& Taraz, 2002; Khan *et al.*, 2008; Ghasemi *et al.*, 2010; Akbarian *et al.*, 2011). Malheureusement, ces tentatives se sont soldées par des échecs ou des effets trop limités (Elkin *et al.*, 1999 ; Miranda *et al.*, 2015). Ces auteurs et tout comme Nys *et al.*(2018) ont suggéré l'utilisation des moyens pharmacologiques. Les travaux de plusieurs auteurs ont montré que *Dioscorea dumetorum* (Photos 1) possède des composés phénoliques qui lui confèrent des propriétés hypoglycémiantes, hypocholestérolémiantes, antimicrobiennes et antioxydantes (Sonibare & Abegunde, 2012; Ogbunugafor *et al.*, 2014; Oluwatosin & Olubunmi, 2015; Ukwueze *et al.*, 2015; Doka *et al.*, 2016). Outre les composés phénoliques, Ferede *et al.* (2010) ont signalés que *D. dumetorum* à chair jaune contient des composés caroténoïdes principalement les  $\beta$ -carotènes. Les cultivars à chair jaune pur étaient le morphotype le plus populaire au Bénin (Adigoun-Akotegnon *et al.*, 2019). Ces auteurs affirment que le potentiel de cette culture était moins exploité. Ainsi, la présente étude a été entreprise pour évaluer les effets de l'incorporation de cossette de *D. dumetorum* (CDD) dans des rations alimentaires sur les caractéristiques physiques internes et biochimiques de l'œuf des poules pondeuses.



Photo 1 : Tubercule et plante de *Dioscorea dumetorum*

### 3 MATERIEL ET METHODES

#### 3.1 Origine des œufs et dispositif expérimental :

Les œufs utilisés pour l'évaluation des qualités physique interne et biochimique sont issus des poules pondeuses de souche Lohmann. Ces poules ont été alimentées

avec six rations R0-A (témoin absolu), R4-A, R8-A et R12-A contenant respectivement 0, 4, 8 et 12% de cossette de *D. dumetorum* (CDD), sans supplémentation d'antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse, R0+A+J (témoin positif)

avec supplémentation d'antioxydant de synthèse (la vitamine C à raison de 200 mg/kg aliment) et la supplémentation du jaunissant de synthèse, et R8-A+J/2 avec une supplémentation d'une 1/2 dose de jaunissant de synthèse. Les rations ont été servies suivant un dispositif expérimental de bloc aléatoire complet à 5 répétitions à raison de 4 poules par unité expérimentale, soit au total un effectif de 120 poules. Le carophyll-rouge

(canthaxanthine) a été utilisé comme jaunissant de synthèse à raison de 80 mg/kg d'aliment. Les autres ingrédients alimentaires et leur composition centésimale sont présentés dans le Tableau 1. Pour obtenir la CDD, les tubercules de *D. dumetorum* à chair jaune ont été épluchés chauffés dans de l'eau à 100°C pendant 30 minutes, découpés en petits morceaux puis séchés au soleil jusqu'à poids constant.

**Tableau 1 :** Composition alimentaire (g.kg<sup>-1</sup> MS) et nutritive des rations alimentaires des poules pondeuses

Ingrédients alimentaires	Rations alimentaires					
	R0-A	R0+A+J	R4-A	R8-A	R8-A+J/2	R12-A
Maïs blanc	64	64	59	54	54	50
Son de blé	2	2	2	4	4	4
Soja grain torréfié	8	8	6	6	6	8
Tourteaux de coton	3	3	4	3,5	3,5	3,5
Tourteaux de soja	11,5	11,5	13,5	13	13	11
CDD	0	0	4	8	8	12
Phosphate bi-calcique	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Concentré ponte <sup>1</sup>	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Lysine	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Méthionine	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Coquille d'huître	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7
Sel	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Antioxydant de synthèse	00	0,2	00	00	0,0	00
Jaunissant de synthèse	00	0,08	00	00	0,04	00
Total	100	100,28	100	100	100,04	100
Composition chimique calculée						
Matière sèche (%)	89,8	90,5	92,5	92,8	93,1	92,7
Matière grasse	4,52	4,52	4,03	3,87	3,87	4,03
Cellulose Brute (%)	3,09	3,09	3,27	3,34	3,34	3,22
Énergie Métabolisable (Kcal/kg)	2758	2758	2765	2753	2753	2763
Protéine Brute (%)	17,28	17,28	17,69	17,5	17,5	17,52
Lysine (%)	1,04	1,04	1,08	1,1	1,1	1,15
Méthionine + cystine (%)	0,79	0,79	0,8	0,8	0,8	0,8
Calcium (%)	3,46	3,46	3,48	3,51	3,51	3,52
Phosphore (%)	0,76	0,76	0,76	0,78	0,78	0,8

CDD= Cossette de *D. dumetorum* ; R0-A= Ration contenant 0% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse ; R0+A+J= Ration contenant 0% de CDD, plus l'antioxydant de synthèse et 80 mg/kg de jaunissant de synthèse ; R4-A= Ration contenant 4% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; R8-A= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; R8-A+J/2= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse avec 40 mg/kg de jaunissant de synthèse ; R12-A= Ration contenant 12% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse.

<sup>1</sup>Concentré ponte :Protéine Brute=40%, Matières grasses=2%, Calcium=7%, Phosphore= 4,4%, Sodium=2,5%, Chlore=3,1%, Lysine =2,5%, Méthionine=2,9%, Méthionine+Cystine=3,3%, EM=2100Kcal/Kg ; Vitamines : A=200000 IU, D3=60000 IU, E=400 mg, K=40 mg, B1=30 mg, B2=120 mg, Acide pantoth.=200 mg, B6=100 mg, B12= 0,4 mg, Acide nic.=600 mg, Acide folique=20 mg, Blotin=2 mg, Chlorure de choline=7000 mg ; Minéraux : Fer=900 mg, Cuivre=300 mg, Manganèse=1200 mg, Zinc=1400 mg, Iodate=40 mg, Sélénium=8 mg.

### 3.2 Évaluation des qualités physiques internes des œufs :

Pour l'évaluation des qualités physiques internes, deux œufs ont été choisis au hasard par ration alimentaire avec trois répétitions, soit un prélèvement 36 œufs tous les 28 jours de ponte. Les mesures de la qualité physique interne sont prises 14 h après la collecte des œufs. Ces mesures ont porté sur les poids ; de l'œuf, du jaune d'œuf et du blanc d'œuf à l'aide d'une balance électronique (Kern EWJ, version 1.2) de portée 300 g et de sensibilité 0,001 g. Ces données ont servi à calculer la proportion moyenne (%) de chaque

composante. Les diamètres du jaune d'œuf et du blanc d'œuf ainsi que la longueur du blanc d'œuf ont été mesurés à l'aide d'une règle de pied à coulisse électronique (Kreator) de 15 cm de taille et de précision 0,2 mm. Les mesures des hauteurs du jaune d'œuf et du blanc d'œuf ont été prises à l'aide d'un trépied micrométrique électronique (Mitutoyo) de précision 0,01 micromètre. Les données enregistrées ont été utilisées pour calculer l'index du jaune d'œuf et l'index du blanc d'œuf suivant les formules suivantes :

$$\text{Index blanc d'œuf} = \frac{\text{Hauteur de albumen}}{\text{Longueur de albumen} + (\text{diamètre du albumen}/2)} \times 100$$

$$\text{Index jaune d'œuf} = \frac{\text{Hauteur de jaune d'œuf}}{\text{Diamètre de jaune d'œuf}} \times 100$$

L'Unité Haugh (UH) a été calculée suivant la formule de Haugh (1937) :

$$\text{UH} = 100 \log (\text{Hb} - 1,7 \text{ PO}^{0,37} + 07,57)$$

Avec Hb = hauteur de blanc d'œuf et PO = poids de l'œuf

Concernant la couleur du jaune d'œuf, elle a été appréciée par observation directe en comparaison à une série de couleurs étalons sur l'échelle de Roche. Cette échelle se présente sous forme d'un éventail à 15 branches numérotées de 1 à 15 et qui correspond à des intensités croissantes de coloration (Bovšková *et al.*, 2014). Une note de 1 dénote un jaune très pâle et une note de 15 indique une couleur jaune orangée très accentuée.

### 3.3 Évaluation de la qualité biochimique des œufs :

L'évaluation de la qualité biochimique des œufs a porté sur les teneurs en caroténoïdes totaux et en cholestérols totaux. Pour l'analyse, un échantillon de trois œufs par ration soit au total 18 œufs, a été prélevé au hasard à 168 jours de ponte. Ces œufs ont été cassés sur une surface plane et le jaune d'œuf a été séparé manuellement de blanc d'œuf. S'agissant des caroténoïdes totaux, la teneur a été

déterminée par la méthode de Wolff (1968). Elle a consisté à prélever, introduire dans une fiole jaugée et agiter 1g de chaque échantillon du jaune d'œuf frais auquel est ajouté 20 ml d'éther de pétrole. Le mélange a été ensuite introduit dans les tubes à essai, puis centrifugé 3 fois de suite à la fréquence de 5000 tours/min. L'absorbance a été mesurée par spectrophotométrie à 450 nm. Concernant la teneur en cholestérols totaux, les mêmes échantillons de jaune d'œuf, ont été prélevés et analysés suivant la méthode de Tietz (1999). Elle a consisté à prélever 10 µL de jaune d'œuf auquel est ajouté 1000 µL de réactif de cholestérol CHOD-PAP. Le mélange obtenu a été agité et laissé au repos pendant une heure à la température ambiante (37°C). L'absorbance a été lue à 500 nm. L'étalon de cholestérol a été préparé à une concentration de 2g/l. La teneur de cholestérols totaux a été obtenue par la formule suivante :

$$\text{Cholestérols totaux} = \frac{\text{Absorbance (essai)}}{\text{Absorbance (étalon)}} \times \text{concentration étalon}$$

**3.4 Analyse statistique :** Les données des composants quantitatifs et qualitatifs de l'œuf, et les teneurs en caroténoïdes totaux et cholestérols

totaux ont été soumises à l'analyse de variance (ANOVA) sous le logiciel R (Team, 2019). Les sources de variation étaient les rations

alimentaires contenant différents taux d'incorporation de la CDD avec ou sans antioxydant de synthèse et de jaunissant ( $n=6$ : R0-A, R0+A+J, R4-A, R8-A, R8-A+J/2, R12-A). La normalité des données a été vérifiée en utilisant le test de Shapiro-Wilk. En cas de

différence significative, les tests Student-Newman-Keuls (SNK) ont été réalisés avec le package *agricolae* (De Mendiburu, 2019) pour faire la structuration des moyennes. Les moyennes ajustées ont été calculées avec le package *emmeans* (Lenth, 2019).

## 4 RESULTATS

**4.1 Caractéristiques physiques internes des œufs :** La longueur du blanc d'œuf a varié de 7,78 à 8,32 cm (Tableau 2). Elle est plus élevée ( $p<0,05$ ) pour les œufs issus des poules nourries avec la ration R0+A+J. La proportion du jaune d'œuf a varié de 23,63 à 30,40%. Cette proportion de jaune d'œuf est plus élevée ( $p<0,05$ ) pour les œufs provenant des poules soumises à la ration R12-A. Par contre, la proportion du blanc d'œuf (56,31 à 63,74%) est

plus faible ( $p<0,05$ ) pour la ration R12-A (Tableau 2). Le diamètre du jaune d'œuf ne présente aucune différence significative suivant la ration administrée aux poules ( $p>0,05$ ). Par ailleurs, le diamètre du blanc d'œuf est plus faible ( $p<0,05$ ) pour les œufs issus des rations R0-A et R4-A. Les rations expérimentales servies aux poules n'influent pas ( $p>0,05$ ) sur la hauteur du blanc d'œuf et du jaune d'œuf.

**Tableau 2 :** Variation des caractéristiques physiques internes des œufs des poules pondeuses nourries avec des aliments contenant de cossette de *D. dumetorum* comme aliment source d'énergie, antioxydant et jaunissant naturel

Traits quantitatifs	Rations alimentaires						SEM	P
	R0-A	R0+A+J	R4-A	R8-A	R8-A+J/2	R12-A		
Poids œuf (g)	59,96 <sup>ab</sup>	61,23 <sup>a</sup>	58,83 <sup>b</sup>	61,9 <sup>a</sup>	61,57 <sup>a</sup>	62,4 <sup>a</sup>	0,327	0,007
Long_B	7,85 <sup>b</sup>	8,32 <sup>a</sup>	7,78 <sup>b</sup>	8,05 <sup>ab</sup>	8,11 <sup>ab</sup>	8,13 <sup>ab</sup>	0,05	0,014
Poids_J (g)	14,47 <sup>c</sup>	14,43 <sup>c</sup>	14,57 <sup>c</sup>	17,17 <sup>b</sup>	16,77 <sup>b</sup>	18,97 <sup>a</sup>	0,31	< 0,001
Poids_B (g)	37,9 <sup>a</sup>	39,07 <sup>a</sup>	36,97 <sup>ab</sup>	36,87 <sup>ab</sup>	37,17 <sup>ab</sup>	35,17 <sup>b</sup>	0,295	0,002
Prop_J (%)	24,19 <sup>c</sup>	23,63 <sup>c</sup>	24,78 <sup>c</sup>	27,72 <sup>b</sup>	27,25 <sup>b</sup>	30,40 <sup>a</sup>	0,434	< 0,001
Prop_B (%)	63,14 <sup>a</sup>	63,74 <sup>a</sup>	62,81 <sup>a</sup>	59,56 <sup>b</sup>	60,34 <sup>b</sup>	56,31 <sup>c</sup>	0,476	< 0,001
Diam_J (cm)	3,92	3,92	3,91	3,95	3,86	3,93	0,011	0,218
Diam_B (cm)	6,31 <sup>b</sup>	6,61 <sup>ab</sup>	6,27 <sup>b</sup>	6,48 <sup>ab</sup>	6,45 <sup>ab</sup>	6,73 <sup>a</sup>	0,044	0,012
Haut_J (mm)	18,22	18,11	18,41	18,38	18	18	0,078	0,505
Haut_B (mm)	9,09	8,93	9,39	9,31	8,87	8,39	0,105	0,065

R0-A= Ration contenant 0% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse ; R0+A+J= Ration contenant 0% de CDD, plus l'antioxydant de synthèse et 80 mg/kg de jaunissant de synthèse ; R4-A= Ration contenant 4% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; R8-A= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; R8-A+J/2= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse avec 40 mg/kg de jaunissant de synthèse ; R12-A= Ration contenant 12% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse.

Long\_B=Longueur du blanc ; Poids\_J= Poids jaune ; Poids\_B= Poids blanc ; Prop\_J= proportion jaune ; Prop\_B= proportion blanc ; Diam\_J= Diamètre jaune ; Diam\_B= Diamètre blanc ; Haut\_J= Hauteur du jaune ; Haut\_B= Hauteur du blanc ; Coul\_J= Couleur du jaune ; Index\_J= Index jaune ; Index\_B= Index blanc

a, b, c, d, e : indique que les valeurs moyennes sur la même ligne avec des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% ; SEM= Erreur type de la moyenne ; p= Probabilité.

S'agissant des traits qualitatifs, la couleur du jaune d'œuf a varié de 1,63 à 13,83 (Tableau 3). Elle est plus intense ( $p<0,05$ ) chez les œufs des poules nourries avec les rations R0+A+J et R8-A+J/2. La couleur du jaune d'œuf issu des poules nourries avec la ration R12-A a occupé la

troisième position (Figure 1). Par ailleurs, le jaune d'œuf issu des poules nourries avec les rations contenant la CDD est plus coloré que le jaune d'œufs obtenu des poules nourries avec la R0-A (témoin négatif) quel que soit le taux d'incorporation de la CDD dans les rations

alimentaires. L'index du jaune d'œuf (45,89 à 47,16%) est similaire ( $p>0,05$ ) pour toutes les rations alimentaires. Par contre, l'index du blanc d'œuf a varié de 7,38 à 8,65% et est plus faible

( $p<0,05$ ) pour les œufs issus des poules nourries à base de la R12-A. De même, les œufs issus de la ration R12-A ont enregistré l'Unité Haugh la plus faible.

**Tableau 3:** Variation des traits qualitatifs des œufs de poules pondeuses nourries avec des aliments contenant de cossette de *D. dumetorum* comme source d'énergie, antioxydant et jaunissant naturel

Traits qualitatifs	R0-A	R0+A+J	R4-A	R8-A	R8-A+J/2	R12-A	SEM	p
Couleur J	1,63 <sup>e</sup>	13,83 <sup>a</sup>	2,47 <sup>d</sup>	4,83 <sup>c</sup>	13,63 <sup>a</sup>	7,43 <sup>b</sup>	0,832	< 0,001
Index_J(%)	46,56	46,21	47,16	46,62	46,7	45,89	0,235	0,747
Index_B (%)	8,34 <sup>ab</sup>	7,75 <sup>ab</sup>	8,65 <sup>a</sup>	8,29 <sup>ab</sup>	7,88 <sup>ab</sup>	7,38 <sup>b</sup>	0,124	0,027
Unité Haugh	94,63 <sup>ab</sup>	93,4 <sup>ab</sup>	96,19 <sup>a</sup>	95,54 <sup>a</sup>	93,36 <sup>ab</sup>	90,4 <sup>b</sup>	0,548	0,024

R0-A= Ration contenant 0% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse de synthèse ; R0+A+J= Ration contenant 0% de CDD, plus l'antioxydant de synthèse et 80 mg/kg de jaunissant de synthèse ; R4-A= Ration contenant 4% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; R8-A= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; R8-A+J/2= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse avec 40 mg/kg de jaunissant de synthèse ; R12-A= Ration contenant 12% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse.

Long\_B=Longueur du blanc ; Poids\_J= Poids jaune ; Poids\_B= Poids blanc ; Prop\_J= proportion jaune ; Prop\_B= proportion blanc ; Diam\_J= Diamètre jaune ; Diam\_B= Diamètre blanc ; Haut\_J= Hauteur du jaune ; Haut\_B= Hauteur du blanc ; Coul\_J= Couleur du jaune ; Index\_J= Index jaune ; Index\_B= Index blanc ;

<sup>a, b, c, d, e</sup> ; indique que les valeurs moyennes sur la même ligne avec des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% ; SEM= Erreur type de la moyenne ; p= Probabilité.



**Figure 1:** Variation de la pigmentation du jaune d'œuf en fonction des taux d'incorporation de cossette de *D. dumetorum* et du jaunissant de synthèse dans les rations alimentaires.

T0-A-J (R0-A)= Ration contenant 0% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse de synthèse ; T0+A+J (R0+A+J) Ration contenant 0% de CDD, plus l'antioxydant de synthèse et 80 mg/kg de jaunissant de synthèse ; T4-A-J (R4-A)= Ration contenant 4% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; T8-A-J (R8-A)= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; R8-A+J/2= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse avec 40 mg/kg de jaunissant de synthèse ; T12-A-J (R12-A)= Ration contenant 12% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse.

**4.2 Teneurs en caroténoïdes et en cholestérols des jaunes d'œuf:** Les teneurs moyennes en caroténoïdes totaux du jaune d'œuf des poules ont varié de 14,45 à 40,2 mg/kg (Tableau4). Elles sont plus élevées ( $p<0,001$ ) au niveau du jaune d'œuf issu des œufs des poules nourries avec la ration R0+A+J, sont suivi de celles nourries avec R8-A+J/2et R12-A.

S'agissant des teneurs en cholestérols totaux du jaune d'œuf, elles sont comprises entre 3,53et 10,18 mg/g (Tableau 4). Ces teneurs sont plus faibles ( $p<0,001$ ) dans le jaune d'œuf issu des œufs des poules nourries avec les rations R0+A+J et R12-A pour lesquels les teneurs ne sont pas différentes ( $p>0,05$ ). Par ailleurs, la teneur en cholestérols totaux est plus élevée dans

les œufs issus des poules nourries avec la ration témoin négatif comparée aux valeurs des œufs

issus des autres rations y compris le témoin positif.

**Tableau 4 :** Variation des teneurs en caroténoïdes totaux (mg/kg) et en cholestérols totaux (mg/g) des jaunes d'œufs des poules pondeuses

Ration alimentaire	Caroténoïdes	Cholestérols
R0-A	14,45 <sup>e</sup>	10,18 <sup>a</sup>
R0+A+J	40,2 <sup>a</sup>	4,16 <sup>d</sup>
R4-A	20,15 <sup>d</sup>	8,32 <sup>b</sup>
R8-A	21,25 <sup>d</sup>	5,29 <sup>c</sup>
R8-A+J/2	34,35 <sup>b</sup>	5,93 <sup>c</sup>
R12-A	28,05 <sup>b</sup>	3,53 <sup>d</sup>
SEM	2,14	0,566
p	< 0,001	< 0,001

R0-A= Ration contenant 0% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse ; R0+A+J= Ration contenant 0% de CDD, plus l'antioxydant de synthèse et 80 mg/kg de jaunissant de synthèse ; R4-A= Ration contenant 4% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; R8-A= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse ni de jaunissant de synthèse ; R8-A+J/2= Ration contenant 8% de CDD, sans antioxydant de synthèse avec 40 mg/kg de jaunissant de synthèse ; R12-A= Ration contenant 12% de CDD, sans antioxydant ni de jaunissant de synthèse ;

<sup>a, b, c, d, e</sup> : indique que les valeurs moyennes sur la même colonne avec des lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5% ; SEM= Erreur type de la moyenne ; p= Probabilité.

## 5 DISCUSSION

**5.1 Qualités internes des œufs :** La présente étude a été entreprise pour évaluer les effets de l'utilisation de cossette de *D. dumetorum* comme source d'énergie, antioxydant et jaunissant naturel sur les caractéristiques internes des œufs des poules pondeuses. Les résultats révèlent que l'incorporation de la CDD dans la ration alimentaire des poules influe positivement sur les caractéristiques physiques internes et biochimiques des œufs. En effet, la supplémentation de la vitamine C (200 mg/kg) dans la ration (témoin positif), n'a pas eu d'effet positif sur la proportion du jaune d'œuf et du blanc d'œuf comparée à la ration sans supplémentation (témoin négatif). Cette insuffisance d'effet résulterait d'un dosage insuffisant de vitamine C, incapable de récupérer totalement les besoins en ascorbate. Par contre, les travaux d'autres auteurs ont montré qu'une supplémentation alimentaire avec des doses élevées de vitamines E et/ou C augmentait la proportion du jaune d'œuf (Çiftçi *et al.*, 2005). A âge égale de ponte, les résultats révèlent un effet positif de l'utilisation des taux de 8% de la CDD et/ou vitamine C, et de l'incorporation de 12% de la CDD comme aliment et antioxydant

naturel du point de vue amélioration de la proportion du jaune d'œuf par rapport à l'utilisation de l'antioxydant de synthèse (vitamine C). De même, à âge égale, les résultats montrent par contre une diminution significative de la proportion du blanc d'œuf pour le niveau d'incorporation de 12% de la CDD. Ceci traduit l'efficacité de l'antioxydant naturel de la CDD par rapport à l'antioxydant de synthèse, vitamine C à la dose de 200mg/kg. Cet effet positif de l'utilisation de la CDD dans la ration sur les caractéristiques des œufs s'explique par le taux d'incorporation de la CDD, mais notamment la biodisponibilité des nutriments. En effet, les résultats précédents ont prouvé que *D. dumetorum* contient également des métabolites secondaires tels que les phénols, les flavonoïdes, alcaloïdes, la saponine et le tanin (Ezeocha *et al.*, 2012) avec des propriétés antioxydants capables de piéger les radicaux libres générés dans les membranes cellulaires (Sonibare & Abegunde, 2012). Les proportions du blanc d'œuf enregistrées dans cette étude sont inférieures à celles rapportées (64 à 65,5%) par Çiftçi *et al.* (2005) en supplémentant la vitamine C (200 mg/kg) dans la ration des poules pondeuses. Ces mêmes

auteurs ont signalé des proportions faibles du jaune d'œuf en comparaison à celle obtenues au cours de la présente expérimentation. Du point de vue caractéristique qualitative, la hauteur en corrélation avec le poids, détermine l'Unité Haugh (UH). Plus la taille est élevée, meilleure est la qualité de l'œuf en termes de fraîcheur. Les valeurs UH obtenues pour cette étude sont supérieures ou égales à 90 quelle que soit la ration testée; ce qui permet d'affirmer que les œufs sont de qualité excellente conformément aux normes de Haugh (1937) et Bourtov *et al.* (1990). Toutefois, à durée égale de conservation, les œufs issus des poules nourries avec la ration R12-A présentent la tendance d'une fraîcheur relativement faible qui serait liée au taux élevé (12%) d'incorporation de la CDD dans la ration. La valeur UH (94,94) enregistrée par Tossou *et al.* (2015) pour la même souche de poule, est similaire à celle obtenue pour la ration témoin négatif de la présente étude; mais inférieure à l'UH obtenue pour la ration contenant 4 de la CDD. Par contre, l'UH de ces auteurs était supérieure à celle des œufs issus des poules nourries à base de la ration contenant 12% de la CDD. La différence serait liée aux caractéristiques nutritionnelles des aliments. Par conséquent, l'ingestion des rations contenant la CDD et/ou une supplémentation de la vitamine C, permettraient d'atténuer le stress oxydatif délétère induit par l'effet de l'environnement, probablement à travers des quantités suffisantes et les capacités synergiques de ces deux composés antioxydants.

**5.2 Teneurs en caroténoïdes et en cholestérols des œufs :** La présente étude révèle que l'incorporation de la CDD à chair jaune sans la supplémentation d'antioxydant ni de jaunissant de synthèse enrichies le jaune d'œuf en caroténoïdes totaux. La teneur en caroténoïdes augmente avec l'accroissement de la proportion du taux d'incorporation de la CDD dans la ration. Par rapport au témoin négatif, cet enrichissement en caroténoïdes est de l'ordre de 28,50 à 31,68% pour les taux d'incorporation de 4 et 8% de la CDD dans les rations ; de 48,48 % pour les taux d'incorporation de 12% de la CDD dans les rations et de 57,93 à 64,05% pour les

raisons R8-A+J/2 et R0+A+J (témoins positifs). Ce qui indique probablement que cette évolution de la teneur en caroténoïdes dans le jaune d'œuf traduit leur apport proportionnel par l'aliment notamment la CDD ou la supplémentation de la vitamine C. Ce résultat corrobore ceux des études précédentes qui ont montré que les tubercules de *D. dumetorum* à chair jaune sont des sources potentielles de caroténoïdes alimentaires (Ferede *et al.*, 2010; Alamu *et al.*, 2016; Price *et al.*, 2018). Les variabilités de la concentration en caroténoïdes enregistrées ont reflété aussi les niveaux de la pigmentation du jaune d'œuf. Cette amélioration de la teneur du jaune d'œuf en caroténoïdes serait liée à l'efficacité de leur digestibilité et de leur métabolisme élevée au fur et à mesure que le taux de la CDD augmente dans la ration ; ce qui explique l'intensification de la pigmentation du jaune d'œuf enregistrée. Par ailleurs, des travaux ont rapporté que le transfert des caroténoïdes dans le jaunes d'œuf dépend tout d'abord de leur nature et de leur structure (Hernandez *et al.*, 2005 ; Nys *et al.*, 2018). Toutefois, l'intensification de la pigmentation du jaune d'œuf est meilleure avec le jaunissant de synthèse.

Les valeurs des taux de caroténoïdes d'œuf enregistrées sont supérieures à celles obtenues (10,83-20,24 mg/kg) par Hammershøj *et al.* (2010) en utilisant des fourrages de variétés de carottes (*Daucus carota*). Par contre, les teneurs enregistrées pour la présente expérimentation sont inférieures à 42,1 mg/kg obtenu par Fredriksson *et al.* (2006) en supplémentant la formule de la ration avec 20% de microalgues. La teneur en caroténoïdes des aliments et de leur métabolisme expliquerait cette différence de concentration comme l'ont rapporté Liu *et al.*, 2012 et Nys *et al.*, 2018. Concernant le cholestérol, les résultats révèlent que l'aliment contenant la CDD réduit le taux de cholestérol dans le jaune d'œuf. Le niveau de réduction s'accroît avec l'accroissement du taux d'incorporation de la CDD dans la ration. Par rapport au témoin négatif, cette réduction est de l'ordre de 65 à 59% pour les taux d'incorporation de 12% de la CDD (R12-A) et pour le témoin

positif (R0+A+J) ; de 42 à 48% pour le taux d'incorporation de 8% de la CDD, et de 18% pour le taux d'incorporation de 4% de la CDD. Ainsi, les résultats révèlent que la réduction du niveau de concentration de cholestérols totaux dans le jaune d'œuf est proportionnelle au niveau d'inclusion de la CDD dans la ration et probablement au niveau de sa consommation. Par ailleurs, les résultats révèlent que l'utilisation de la CDD à 12% dans la ration réduit le taux de cholestérols totaux au tant que l'antioxydant de synthèse dans le jaune d'œuf. Cet effet positif considérable de réduction du taux de cholestérols totaux serait lié à la capacité antioxydant de la CCD qui aurait généré le système antioxydant dans le corps des poules pondeuses. Ce qui confirme les travaux d'Oluwatosin & Olubunmi (2015) qui ont

rapportés l'activité hypocholestérolémiant de *D. dumetorum*. Ainsi, ce résultat présente une similitude avec ceux d'Akbarian *et al.* (2011) qui ont observés une diminution du taux de cholestérol dans le jaune d'œuf avec les rations contenant du gingembre (comme antioxydant) et ceux de Benakmoum *et al.* (2013) qui ont rapportés que l'utilisation de la poudre de tomate (comme antioxydant et colorant) dans la ration des poules a réduit le taux de cholestérol dans le jaune d'œuf. Cependant, les teneurs en cholestérol enregistrées pour cette étude sont inférieures au taux de 13,7-21,9 mg/g obtenues par Benakmoum *et al.* (2013). Par conséquent, l'incorporation de la CDD dans la ration réduit la concentration en cholestérols dans le jaune d'œuf et procure le bien-être sanitaire aux consommateurs.

## 6 CONCLUSION ET APPLICATION DES RÉSULTATS

La présente étude montre que l'incorporation de la CDD à chair jaune dans la ration, présente in vivo des activités antioxydantes chez les poules pondeuses. Les effets positifs sur la qualité interne des œufs sont particulièrement mis en évidence par les performances enregistrées en termes d'amélioration de la proportion du jaune d'œuf, de sa pigmentation et de la réduction de sa teneur en cholestérols totaux par rapport aux rations ne contenant pas la CDD ou supplémenté avec la vitamine C à la dose de 200mg/kg. Par conséquent, l'incorporation de la CDD comme source d'énergie et antioxydant

naturel notamment avec les taux d'incorporation de 12%, suivi de 8% et/ou de la supplémentation avec la vitamine C, peuvent être recommandés aux éleveurs pour améliorer la qualité biochimique du jaune d'œuf et autres qualités physiques internes pour le bien-être des consommateurs. Toutefois, d'autres investigations méritent d'être menées pour évaluer les effets bénéfiques potentiels de l'équilibre des acides aminés, des macroéléments, des vitamines et antioxydants de *D. dumetorum*.

## 7 REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient le Gouvernement béninois à travers le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche

Scientifique qui a mis en place le Programme d'Appui aux Doctorants (PAD) qui a financé la réalisation de la présente étude.

## 8 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abeyrathne E, Lee H, Ahn D, 2013. Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents: A review. Poultry Science 92(12): 3292-3299.  
Adigoun-Akotegnon FA, Adoukonou-Sagbadja H, Fadinan C, Tchougourou A,

Agassounon-Tchibozo M, Ahanhanzo C, 2019. Diversity, distribution and ethnobotanical importance of cultivated and wild African trifoliate yam [*Dioscorea dumetorum* (Kunth) Pax] in Benin. Genetic Resources and Crop Evolution 66 (3): 659-683.

- American Heart Association (AHA) 1986. Dietary guidelines for healthy American adults. *Circulation* 74: 1465A-1468A.
- Akbarian A, Golian A, Sheikh Ahmadi A, Moravej H, 2011. Effects of ginger root (*Zingiber officinale*) on egg yolk cholesterol, antioxidant status and performance of laying hens. *Journal of Applied Animal Research* 39(1): 19-21. <https://doi.org/10.1080/09712119.2011.558612>
- Alamu E, Maziya-Dixon B, Ferede-Menkir R, Popoola I, Asiedu R, Gondwe T, 2016. Characterization and classification of the provitamin A carotenoids of deep yellow-fleshed bitter yam (*Dioscorea dumetorum*) varieties. *Journal of Food and Nutrition Research* 4 (10): 640-645. <https://doi.org/10.12691/jfnr-4-10-2>
- Applegate E, 2000. Introduction: Nutritional and functional roles of eggs in the diet. *Journal of the American College of Nutrition* 19: 495S-498S. <http://dx.doi.org/10.1080/07315724.2000.10718971>
- Beardsworth P. and Hernandez J, 2004. Yolk colour—an important egg quality attribute. *International Poultry Production* 12(5): 17-18.
- Benakmoum A, Larid R, Zidani S, 2013. Enriching egg yolk with carotenoids and phenols. *International Journal of Nutrition and Food Engineering* 7(7): 489-493.
- Bourtov Y, Goldin Y, Krivonichin I, 1990. Incubation de l'œuf. *Agroizdat*. 239p. ISBN5-10-0006900.
- Bovšková H, Mikova K, Panovská Z, 2014. Évaluation of egg yolk colour. *Czech Journal of Food Sciences* 32(3): 213-217.
- Ciftci M, Ertas ON, Guler T, 2005. Effects of vitamin E and vitamin C dietary supplementation on egg production and egg quality of laying hens exposed to a chronic heat stress. *Revue de Médecine Vétérinaire* 156(2) : 107-111.
- De Mendiburu F, 2019. *Agricolae* : statistical procedures for agricultural research. R package, version 1.3-1. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
- Doka IG, El Tigani S, Yagi S, 2016. Nutritional Profile and Radical Scavenging Capacity of Tubers of Two *Dioscorea* Species. *Advance Journal of Food Science and Technology* 11(3): 262-268. <https://doi.org/10.19026/ajfst.11.2408>
- Elkin R, 2006. Reducing shell egg cholesterol content. I. Overview, genetic approaches, and nutritional strategies. *World's Poultry Science Journal* 62(4): 665-687.
- Elkin RG, Yan Z, Zhong Y, Donkin SS, Buhman KK, Story JA, Turek JJ, Porter Jr RE, Anderson M, Homan R, 1999. Select 3-hydroxy-3-methylglutaryl-coenzyme A reductase inhibitors vary in their ability to reduce egg yolk cholesterol levels in laying hens through alteration of hepatic cholesterol biosynthesis and plasma VLDL composition. *The Journal of nutrition* 129(5): 1010-1019.
- Englmaierová M, Bubancová I, Skřivan M, 2014. Carotenoids and egg quality. *Acta Fytotechnica et Zootechnica* 17(2): 55-57.
- Ezeocha V, Ojmelukwe P, Onwuka G, 2012. Effect of cooking on the nutritional and phytochemical components of trifoliolate yam (*Dioscorea dumetorum*). *Global Advanced Research Journal of Biochemistry and Bioinformatics* 1(2): 026-030.
- Ferede R, Maziya-Dixon B, Alamu OE, Asiedu R, 2010. Identification and quantification of major carotenoids of deep yellow-fleshed yam (tropical *Dioscorea dumetorum*). *Journal of Food, Agriculture & Environment* 8(3&4): 160-166.
- Fredriksson S, Elwinger K, Pickova J, 2006. Fatty acid and carotenoid composition of egg yolk as an effect of microalgae

- addition to feed formula for laying hens. Food Chemistry 99(3): 530-537.
- Ghasemi R, Zarei M, Toriki M, 2010. Adding medicinal herbs including garlic (*Allium sativum*) and thyme (*Thymus vulgaris*) to diet of laying hens and evaluating productive performance and egg quality characteristics. American Journal of Animal and Veterinary Sciences 5(2): 151-154.
- Griffin BA, 2016. Eggs: good or bad? Proceedings of the Nutrition Society, 75: 259–264. <https://doi.org/10.1017/S0029665116000215> Conference on ‘the future of animal products in the human diet: health and environmental concerns’. Symposium 2: Milk and eggs, health and sustainability.
- Hammershøj M, Kidmose U, Steinfeldt S, 2010. Deposition of carotenoids in egg yolk by short-term supplement of coloured carrot (*Daucus carota*) varieties as forage material for egg-laying hens. Journal of the Science of Food and Agriculture 90(7): 1163-1171. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3937>
- Haugh RR, 1937. The Haugh unit for measuring egg quality. US Egg Poultry Magazine 43: 552-555.
- Hernandez J-M, Beardswort P, Weber G, 2005. Egg quality-meeting consumer expectations. International Poultry Production 13(3): 20-23.
- Khan SH, Hasan S, Sardar R, Anjum MA, 2008. Effects of dietary garlic powder on cholesterol concentration in Native Desi laying hens. American Journal of Food Technology 3(3): 207-213.
- Lemahieu C, Bruneel C, Termote-Verhalle R, Muylaert K, Buyse J, Foubert I, 2014. Effect of different microalgal n-3 PUFA supplementation doses on yolk color and n-3 LC-PUFA enrichment in the egg. Algal Research 6: 119-123.
- Lenth R, 2019. Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.3.5., <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>.
- Liu Y-Q, Davis C, Schmaelzle S, Rocheford T, Cook M, Tanumihardjo S, 2012.  $\beta$ -Cryptoxanthin biofortified maize (*Zea mays*) increases  $\beta$ -cryptoxanthin concentration and enhances the color of chicken egg yolk. Poultry science 91(2) : 432-438.
- Miranda JM, Anton X, Redondo-Valbuena C, Roca-Saavedra P, Rodriguez JA, Lamas A, Franco CM, Cepeda A, 2015. Egg and egg-derived foods: effects on human health and use as functional foods. Nutrients 7(1) : 706-729. <https://doi.org/10.3390/nu7010706>
- Moreno J, Díaz-Gómez J, Fuentes-Font L, Angulo E, Gosálvez L, Sandmann G, Portero-Otin M, Capell T, Zhu C, Christou P, 2020. Poultry diets containing (keto) carotenoid-enriched maize improve egg yolk color and maintain quality. Animal Feed Science and Technology 260: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114334>
- Mottaghitalab M. and Taraz Z, 2002. Effects of garlic powder (*Allium sativum*) on egg yolk and blood serum cholesterol in Aryan breed laying hens. British Poultry Science 43: S42-S43.
- Nabi F, Arain MA, Rajput N, Alagawany M, Soomro J, Umer M, Soomro F, Wang Z, Ye R, Liu J, 2020. Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: A review. Journal of animal physiology and animal nutrition 104(6): 1809-1818. <https://doi.org/10.1111/jpn.13375>
- Nys Y, Jondreville C, Chemaly M, Roudaut B, 2018. Qualités des œufs de consommation. In : Alimentation des animaux et qualité de leurs produits (Berthelot V., coord.), Paris, Tec & Doc Lavoisier, coll. Agriculture d’aujourd’hui.

- Partie 2 : Déterminants alimentaires et non alimentaires en élevage de la qualité des produits (chapitre 9). 316-333pp.
- Ogbunugafor HA, Ildigwe EE, Ajaghaku DL, Ezekwesili CN, Okafor CS, Ajuzieogu CF, Madunatum SU, 2014. *Dioscorea dumetorum*-fed rats exhibited decreased body weight, blood glucose, and insulin in stz-induced diabetes. *Functional Foods in Health and Disease* 4(2): 87-97.
- Oluwatosin B. and Olubunmi A, 2015. Effects of *Dioscorea dumetorum* tuber supplemented diet on plasma lipid profile and glucose level of hypercholesterolemic rats. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 4(12): 284-295.
- Price EJ, Bhattacharjee R, Lopez-Montes A, Fraser PD, 2018. Carotenoid profiling of yams: Clarity, comparisons and diversity. *Food chemistry* 259, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.066>
- Singh A, Ahmad S, Ahmad A, 2015. Green extraction methods and environmental applications of carotenoids-a review. *RSC advances* 5(77): 62358-62393. <https://doi.org/10.1039/C5RA10243J>
- Sonibare MA. and Abegunde RB, 2012. In vitro antimicrobial and antioxidant analysis of *Dioscorea dumetorum* (Kunth) Pax and *Dioscorea hirtiflora* (Linn.) and their bioactive metabolites from Nigeria. *Journal of Applied Biosciences* 51: 3583-3590.
- Surai P, Speake B, Sparks N, 2001. Carotenoids in avian nutrition and embryonic development. 1. Absorption, availability and levels in plasma and egg yolk. *The Journal of Poultry Science* 38(1): 1-27.
- Surai PF, 2002. Natural antioxidants in avian nutrition and reproduction. Nottingham University Press Nottingham.
- Team RC, 2019. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- Tietz N, 1999. Textbook of clinical chemistry, 3<sup>rd</sup> Edition, C.A. Burtis, E.R. Ashwood, W.B. Saunders. 809-856pp.
- Tossou ML, Chrysostome AAMC, Houndonougbo MF, Tougan PU, Behingan MB, Salifou S, Abiola AF, 2015. Effet de la souche et du système sur la qualité des œufs de trois souches de poules pondeuses élevées au Sud du Bénin. *Afrique Science* 11(5): 294-305.
- Ukwueze CO, Onoja SO, Ezeja MI, 2015. Experimental Évaluation of Analgesic and Antioxidant Effects of Hydromethanolic Extract of *Dioscorea dumetorum* Tuber. *Journal of Advances in Medical and Pharmaceutical Sciences* 3(3): 131-137. <https://doi.org/10.9734/JAMPS/2015/18117>
- Wang J-J. and Pan T-M, 2003. Effect of red mold rice supplements on serum and egg yolk cholesterol levels of laying hens. *Journal of agricultural and food chemistry* 51(16): 4824-4829.
- Wolff J, 1968. Manuel d'analyses des corps gras; Azoulay éd. Paris (France) 519p.
- Zaheer K, 2017. Hen egg carotenoids (lutein and zeaxanthin) and nutritional impacts on human health: a review. *CYTA-Journal of Food* 15: 474-487. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1266033>