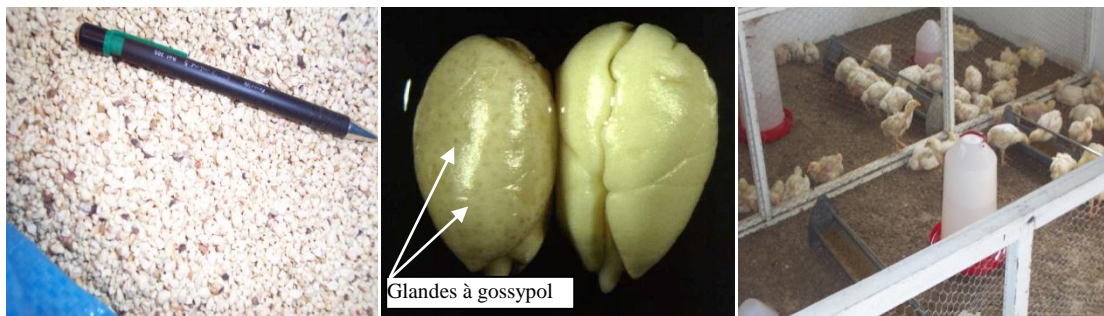




**ACADEMIE UNIVERSITAIRE WALLONIE-EUROPE  
UNIVERSITE DE LIEGE  
FACULTE DE MEDECINE VETERINAIRE  
DEPARTEMENT DES PRODUCTIONS ANIMALES  
SERVICE DE NUTRITION DES ANIMAUX DOMESTIQUES**

**VALORISATION DES CO-PRODUITS DE LA GRAINE DE  
COTON EXEMPTÉ DE GLANDES A GOSSYPOL EN  
PRODUCTION DE POULETS AU SENEGAL**



**VALORIZATION OF GLANDLESS COTTONSEED BY-  
PRODUCTS ON BROILERS PRODUCTION IN SENEGAL**

**Mamadou Tandiag DIAW**

**THESE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE DOCTEUR EN SCIENCES  
VETERINAIRES – ORIENTATIONS SANTE ET PRODUCTIONS ANIMALES**

**ANNEE ACADEMIQUE 2009-2010**

*À la mémoire*

*Du Prof. André **BULLDGEN** pour sa contribution à la mise en place du Département Productions  
Animales de l'ENSA de Thiès.*

*Une pensée pieuse également à*

*Mon Père feu **Mathurin DIAW**,*

*Ma tante **Penda FAYE** et ma Belle mère **Fatoumata KA**,*

*Mon ami et compagnon de toujours feu **Mamadou SARR**, et surtout  
Mon collègue **Assane SENE** qui nous a quitté à la fin de sa formation d'ingénieur.*

*Reposer en paix mes très chers !*

*« Ce que l'on fait dans sa vie résonne dans l'éternité »*

*Vous êtes toujours présents dans nos cœurs.*

---

## **Remerciements**

Cette thèse a été financée par la Commission Universitaire pour le Développement (CUD, Belgique) dans le cadre du Projet « PIC » portant sur l'*Amélioration de la rentabilité de la filière cotonnière au Sénégal*. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à cette organisation ainsi qu'au Centre de la Coopération au Développement de l'Université de Liège (CECODEL) qui, à travers la fondation Alice Seghers, m'a permis de finaliser ce travail.

Je voudrai témoigner ma gratitude aux autorités sénégalaises, en particulier la Direction de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA) de l'Université de Thiès (Sénégal) qui m'ont autorisé à suivre cette formation doctorale.

Nombreuses ont été les personnes qui ont contribué à l'aboutissement de ce travail. Tout en leur adressant toute ma reconnaissance, je vais en nommer quelques uns de par leurs contributions.

Je tiens tout d'abord à remercier le Prof. Guy MERGEAI, l'initiateur et coordonnateur de ce projet qui nous a permis de faire ce premier pas dans le monde de la recherche scientifique. Je le remercie également pour ses encouragements, son intérêt particulier au suivi des travaux, sa disponibilité, ses conseils et son engagement pour une meilleure agriculture en Afrique et en particulier au Sénégal.

Mention spéciale au Dr Jean-Luc HORNICK ; j'ai vraiment été touché par la qualité de l'encadrement dont j'ai bénéficié à côté de son honorable personne. Malgré les contraintes de temps liées à la durée du projet, il n'a jamais cessé de croire en moi, de m'encourager et de répondre à toutes mes sollicitations. Qu'il trouve à travers ces lignes le témoignage de ma profonde gratitude.

J'ai fait la connaissance du Prof. Abdoulaye DIENG à l'ENSA et depuis, bientôt 10 ans, je travaille avec lui. Je voudrai le remercier pour son appui à la réalisation de ce travail et ses conseils fréquents et avisés. Son esprit de synthèse et son érudition restent pour moi un exemple à suivre. Je lui en ai très reconnaissant de la confiance qui nous a liés et de son engagement pour la consolidation des acquis de la formation et de la recherche agronomique à l'ENSA. Je remercie également son prédécesseur à la Direction de l'ENSA le Prof. Papa Ibra SAMB pour avoir cru en moi.

J'adresse mes sincères remerciements au Prof. Louis ISTASSE pour m'avoir ouvert les portes de son équipe et guidé durant mes séjours dans le cadre de cette formation. Ce travail témoigne de sa confiance et de son soutien. Qu'il trouve ici l'expression de ma reconnaissance et de mon amitié.

Je voudrai témoigner toute ma gratitude au Dr Jean François CABARREAU pour ses encouragements, ses conseils. J'ai été très touché par sa simplicité et ses qualités humaines. J'associe à ces remerciements le Dr Vincent ROBAYE et Mme Héléne CRAHAYE du CECODEL ; je leur en ai très reconnaissant de la qualité de l'accueil et de leur esprit d'ouverture.

Je tiens également à remercier Messieurs Olivier DOTREPPE et Christophe du laboratoire du service Nutrition de leur disponibilité pour les nombreuses analyses que nous avons effectuées en leur compagnie et à travers eux tous les membres de ce service (Nutrition de la FMV de l'ULg).

Je m'en voudrai de ne pas témoigner toute ma reconnaissance aux personnels de la ferme expérimentale de la FMV de l'ULg en particulier à la Directrice, le Dr Isabelle DUFRASNE, pour le séjour effectué dans la station et qui m'avait rapproché des robots de traites et permis de découvrir la foire de Librammont. Merci à vous et à l'ensemble du personnel d'appui (Jean, Michel, etc.).

J'assure le Dr Saliou NDIAYE de l'ENSA de Thiès de ma profonde et sincère reconnaissance. Je me souviens encore des nombreuses missions de terrains effectuées avec lui dans la zone du Ferlo et où j'ai pu bénéficier de son expérience. Merci à vous, au Dr El Hadji Fallou GUEYE aussi ainsi qu'à l'ensemble des alumnis de l'ENSA des efforts consentis pour le rayonnement de cette école.

Je profiterai également de cette occasion pour remercier tous les membres du corps académique de l'ENSA pour leurs encouragements et leurs soutiens. Par peur d'en omettre des noms je me garderai de les citer et leur prierai tous, sans distinction de départements et d'anciennetés, de recevoir mes hommages à travers ces lignes. J'espère qu'ensemble nous saurions conduire à « bon port » cette école fortement ancrée dans le processus de développement de ce pays et dont sa destinée nous incombe.

Toutefois, je m'en voudrai de ne pas citer nommément le Dr Thierry NESSEIM, Chef du Centre d'Application des Techniques d'Elevage (CATE). L'ensemble des expérimentations ont été effectuées dans les locaux du centre qu'il dirige et tout l'équipement pour la bonne conduite de ces travaux ont été disponibles. Merci de votre soutien. J'en profite également pour remercier tout le personnel du CATE : François, Tidiane, Pa Mané, Mbaye ; mais aussi Doudou, Martin, Isidore, Sané, etc..

Je réitère encore une fois de plus toute ma profonde gratitude à Monsieur Souleymane DIENG de son aide précieux aux analyses braumatologiques effectuées en sa compagnie. Je lui en ai très reconnaissant également de ses qualités humaines et de son appui pour le DPA de l'ENSA.

Je me dois également d'exprimer toute ma reconnaissance à des collaborateurs qui ont eu à travailler avec moi dans ces travaux et dont leurs contributions a été déterminantes. Il s'agit de Messieurs Ibrahim YOUSSEPH, Moustapha SY et Abib CAMARA. Un clin d'œil aussi à Bilal FALL.

La sollicitude, les conseils et les encouragements de Djibril SARR (Dr), m'ont beaucoup aidé à faire progresser mon travail durant les étapes critiques de mon expérimentation. Les échanges ont toujours été fructueux. J'ai apprécié entre autre votre simplicité. J'associerai à ces remerciements Mlle Bineta Hassedine DIOUF pour son soutien et ses encouragements. Merci chère cadette et bonne continuation.

J'entretien avec le conservateur de la bibliothèque de l'ENSA (A. Hane) des relations de respects que je voudrai également lui témoigner à travers ces lignes. J'en profiterai aussi pour remercier tous le Personnel d'Appui de Technique et de Service (PATS) de l'ENSA pour leurs encouragements avec des personnes comme Hyacinthe, Robert, Cissé Guèye, Pape Guèye (Bèg Cebb), Alassane, Pa Sy, ..., Mme Fatou Sy et aux secrétaires de l'administration.

Je me dois de rendre hommage à Moula NASSIM au service Génétique quantitative et Biostatistique du DPA de la FMV de l'ULg. Les témoignages sur sa personne ont été partagés par tous ceux qui l'ont connu avec un accent particulier sur ses qualités humaines, son engagement, sa volonté et son respect aux autres. A travers lui je salue l'esprit d'ouverture des personnes de ce service comme Nicola Antoine, Frédérick Farnir, François et le Prof. Pascal LEROY membre de ce jury.

Je profiterai également de cette occasion pour remercier Mon Très Cher ami Faustin Katimbo tout en lui souhaitant une très grande réussite dans ses expérimentations et de finaliser très prochainement sa thèse. Ces souhaits s'adressent aussi à Harouna, Adamo et Omar avec qui j'ai passé de bon moment à Liège. Je vous souhaite une bonne continuation et une grande réussite dans votre cursus doctoral.

Je remercie Mme Diouf (Khady Mbaye) pour son amitié indéfectible. Elle m'a toujours soutenu dans les moments les plus difficiles. Je tiens aujourd'hui à lui exprimer ma profonde reconnaissance. Et à travers Elle Mme Guèye (Nogaye Sèye), Alexandre Diouf, George Diatta et toute la 17<sup>ème</sup> promotion de l'ENSA ainsi que les cadets et les membres du club d'arts martiaux.

Je m'en voudrai de ne pas citer nommément Gora Bèye et Mme (Raky Macina), Bamba Diop, Cheikh S. Péne et Bassirou Sine et Mme (Fatou Faye) pour leur témoigner toute ma gratitude aux bonnes relations que nous entretenons et où les conseils et l'humour nous donne la force de poursuivre.

Mention spéciale également à Moustapha B. Diarra, Maïmouna Diallo, Mme Camara (née Bintel Sow), Samba Camara, El Hadji Ndiaye, Bassirou Sarr et Mme (Diatou), Mme Guèye (née Kiné), Tidjane Dramé de leurs encouragements et des prières pour la bonne conduite de ces travaux.

Le bizutage est une pratique qui permet aux étudiants de développer des relations de complicités et de solidarités. Il avait favorisé, à l'ENSA, la mise en place autour de ma personne d'une association qui, aujourd'hui, cherche à se muter en ONG (KGM ou Knowledge, Growth and Management) dont l'objectif principal est de promouvoir les connaissances locales dans un processus de développement et de lutte contre la pauvreté. Je voudrai remercier toutes les personnes qui ont contribué à sa création : Clément, Momar, Mansour, Aw, Daha et Gora. J'espère qu'ensemble nous réussirons ce pari.

Je voudrai également saluer l'engagement et l'esprit d'entreprise d'un ami avec qui je travaille sur la mise en place d'une fabrique d'aliment à partir d'un dossier que j'ai monté et qui a été accepté pour

financement par la Banque Islamique de Développement. Nous devons l'aboutissement de ce dossier à sa volonté. Veuillez recevoir chère DIA Babacar les sentiments de ma profonde gratitude. Et à travers vous je remercie Abdoulaye FAYE et toute votre famille notamment à Mountagha.

Je rendrai hommage à ma famille et en particulier à ma mère Mme Ndèye Binta Faye DIAW ainsi qu'à tous mes frères et sœurs. Je ne pourrai m'empêcher de citer nommément Rama et la compréhension de son mari (Aliou) pour leur soutien inlassable dans la réussite de ce travail.

Je me dois de témoigner toute ma reconnaissance à mes oncles Demba DIAW, El Hadji DIAW, Soukayna DIOP, Fama DIAW et Ablaye GUEYE. J'éprouve le plus grand respect en eux de par leur cordialité avec mon défunt père. A travers vous je voudrai remercier tous les membres de vos familles de leurs soutiens et surtout à ma tante Seynabou FALL avec un clin d'œil à Ndèye Anta DIAW.

Je remercie également mes cousins Cherif DIOP, Sidy GUEYE, Thierno DIOP, Talla NIASS sans oublier ma tante Fatou POUYE et sa famille, Abdourahmane DIAW, Alpha DIALLO avec une mention spéciale à ma nièce Yacine Guèye. Bonne continuation dans tes études à toi Ibrahima Guèye.

Je voudrai témoigner toute ma gratitude à ma belle famille de la confiance et du soutien qu'ils m'ont toujours témoigné. Je m'en excuserai de ne pouvoir les citer. Sachez en tout cas que j'ai été très touché par la sympathie des uns et des autres mais également les valeurs humaines qui vous animent. J'associerai à ces remerciements Mlles Adja KA, Fama GUEYE et Fatou DIA. *A qui le tour now ?*

Mention spéciale au couple Salim et Aminata KA pour leurs soutiens et leurs encouragements mais également leurs disponibilité dans les moments les plus difficiles de cette mission. Je vous en ai très reconnaissant de la qualité de l'accueil en Belgique et de leurs sérieux.

Je tiens également à remercier Mme Sandrine VANDENPUT ainsi que tous les lecteurs qui ont eu (ou auront) à évaluer les publications de cette thèse. Je leur en ai très reconnaissant de leurs disponibilités et de leurs suggestions très pertinentes qui ont permis d'améliorer la qualité de ce travail.

Je remercie également l'ensemble des membres du jury du temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de ce document ainsi que de leurs contributions à sa défense public. Veuillez chers Messieurs recevoir à travers ces lignes mes sentiments de reconnaissances les plus sincères de l'honneur que vous nous faites en acceptant de faire parti de ce jury malgré vos multiples occupations.

Je terminerai par remercier ma femme (Ramata KA) de son soutien, ses encouragements, sa compréhension et sa disponibilité. Je crois qu'ensemble nous réussirons cette noble mission. Merci encore à toi et Bonne continuation. Ce travail est le fruit de ton sérieux et de ta patience.

---

## **Résumé – Summary**



## Résumé

---

Cette étude évalue les effets des co-produits de la graine de coton avec ou sans glandes à gossypol (glanded et glandless) en production de poulets de chair au Sénégal. L'ensemble des essais ont été conduits au niveau de la station expérimentale de l'ENSA de l'Université de Thiès (Sénégal). Les analyses chimiques ont, pour la plupart, été réalisées au niveau du service nutrition de la faculté de médecine vétérinaire et de Gembloux Agro-Biotech de l'Université de Liège (Belgique).

La première partie de ce travail est relative à la valeur nutritive des co-produits de la graine de coton et de leur importance en production de poulets. Elle fait le point sur les différents traitements existants et qui ont une incidence sur la composition chimique des tourteaux obtenus après trituration. Les facteurs anti-nutritionnels tels que le gossypol ont également été décrits ainsi que leurs effets sur la volaille. Au final, une synthèse des divers procédés de détoxification du gossypol a été réalisée et les limites d'incorporations des co-produits de la graine de coton dans les aliments pour poulets ont été définies.

La deuxième partie du travail porte sur l'utilisation du coton conventionnel pour évaluer ses effets sur les paramètres zootechniques en productions de poulets. La fève de coton obtenue après décorticage partiel au moulin à mil et tamisage du produit obtenu a été utilisée. Cette fève présente l'avantage, par rapport aux tourteaux de coton, d'être moins riche en constituant pariétaux mais aussi d'avoir une qualité nutritive proche de l'amande des graines de coton. Son incorporation dans les rations expérimentales en remplacement du tourteau d'arachide à des proportions de 25, 50 et 75% s'est traduite par une forte diminution des performances pondérales, de l'ingestion, de l'efficacité alimentaire et de la digestibilité des nutriments. La plus faible incorporation lors de cet essai s'est traduite par une réduction d'au moins de moitié du poids des animaux. Cette tendance s'est maintenue à tous les niveaux de substitution avec, comme corollaire, une forte augmentation de la mortalité après 6 semaines d'élevage au niveau du groupe ayant reçu la ration comportant 75% de substitution du tourteau d'arachide. L'effet négatif du gossypol sur l'appétibilité des aliments, qui serait à l'origine des faibles poids des poulets, ainsi que la toxicité du composé pour ces animaux ont ainsi été mis en évidence.

Cette étude a permis de montrer que les co-produits de graines de coton conventionnel doivent être exclus en alimentation de poulets de chair. Toutefois, ils pourraient constituer une alternative en aviculture traditionnelle où la croissance des animaux est très lente du fait de la rareté des ressources alimentaires et de la disponibilité de cette ressource dans les zones cotonnières des pays en développement. En effet, des niveaux d'incorporation pouvant atteindre 10% dans les aliments pour des poulets en élevage de longue durée ont ainsi été déterminés.

La troisième partie du travail décrit deux essais d'utilisation de fèves issues de variétés de graines de coton exempt de glandes à gossypol (« glandless ») en remplacement du tourteau d'arachide. Dans un premier temps, un dispositif similaire à celui du coton conventionnel a été appliqué avec des niveaux de substitution de 0, 25 50 et 75%. Contrairement à ce qui a été observé avec la fève de coton gossypolée, une augmentation des performances pondérales, consécutive au meilleur niveau d'ingestion, a été mise en évidence dès la période de démarrage. Ces meilleures croissances n'ont pas donné une meilleure efficacité alimentaire des rations avec le coton « glandless ». A l'exception des protéines dont les données de digestibilité n'ont pu être étudiées pour des raisons techniques, aucune différence n'a été observée sur la digestibilité des nutriments des divers aliments expérimentaux. Les mortalités enregistrées ont également été conformes aux normes dans la zone d'étude. L'examen des carcasses a révélé un développement plus important des muscles pectoraux (le bréchet) et des cuisses des animaux ayant reçu les taux d'incorporation de coton les plus élevés. La différence de la composition en acide gras des huiles de la fève de coton et de la graine d'arachide, de l'huile d'arachide ayant été apporté dans la ration témoin et substituée dans les différentes rations selon le niveau d'incorporation d'amandes de coton, a conduit à l'étude du profil des acides gras des lipides des muscles et des graisses abdominales. Une augmentation des teneurs en acide linoléique au détriment de l'acide oléique - plus présent dans l'huile d'arachide - a ainsi été mise en évidence.

Ces effets positifs du coton « glandless » ont été confirmés par une autre expérimentation ayant comparé l'aliment témoin avec un aliment présentant une substitution totale du tourteau d'arachide par la fève de coton, avec également une ration simplifiée destinée aux éleveurs amateurs, et enfin avec un aliment homologué de commerce. La substitution totale du tourteau d'arachide ne s'est pas traduite par une baisse de performances. Les faibles performances des animaux ayant reçu la ration simplifiée, constituée essentiellement de maïs, de la fève de coton et de CMV, laisse envisager sa vulgarisation auprès des petits producteurs traditionnels où les fortes croissances ne constituent pas une priorité.

Suite aux effets positifs observés avec la fève de coton en substitution du tourteau d'arachide, une quatrième partie a été abordée pour discriminer les effets propres liés aux protéines et aux lipides de cet aliment. Un dispositif à deux critères de variance, incluant la présence ou non de protéine de coton et la présence ou non de lipides de coton, a été appliqué. Pour ce faire, une partie de la fève de coton a été délipidée pour être associée à l'huile d'arachide ; l'huile extraite a été utilisée avec du tourteau d'arachide, tandis que la fève non-délipidée représentait l'aliment riche en protéine et en huile de coton. Au final les rations expérimentales étaient iso-lipidiques et iso-protéiques. Aucune différence significative liée au type principal de lipides n'a été observée sur les paramètres de croissance et d'ingestion. Une forte appétence liée aux protéines de coton a par contre été mise en évidence entraînant de meilleures performances pondérales chez les poulets ayant reçu les protéines de coton. De plus, les animaux ayant reçu la fève délipidée et l'huile d'arachide ont donné des poids et une

ingestion supérieure à ceux nourris avec les aliments contenant la fève de coton non-délipidé. L'étude de la composition en acide gras a révélé une amélioration des teneurs en AGPI dans les lipides intramusculaires des animaux ayant reçu les protéines de coton. Au niveau des graisses, l'huile de coton a accru la teneur en AGPI et notamment en acide linoléique, très présent dans l'huile de coton. Les huiles ainsi contenues dans les rations ont principalement été déposées de façon mécanique au niveau des graisses abdominales.

En conclusion cette étude a permis de montrer qu'il est possible d'utiliser la fève de coton des variétés exempt de glandes à gossypol comme aliment en production de poulets pour améliorer les performances des animaux. Dans les pays en développement où les fabriques d'aliment sont obligées d'importer des concentrés protéiques, la vulgarisation de variétés exemptes de gossypol uniquement dans la graine pourrait constituer une véritable opportunité.

## Summary

---

This study evaluates the effects of glanded and glandless cottonseed by-products in broilers production in Senegal. Experimentations were conducted in the experimental station of ENSA of the University of Thies (Senegal). The chemical analyses have been done in nutrition service of the faculty of veterinary medicine and Gembloux Agro-Biotech of the University of Liege (Belgium).

The first part of this study is relative to the nutritive value of cottonseed by-products and their importance in broilers production. It sums up all of the different treatments of cottonseed and which have an impact on the chemical composition of the cottonseed meal after oil extraction. The anti-nutritional factors as the gossypol have also been characterized as well as their effects on poultry. At the final, a synthesis of the various processes of detoxification of the gossypol has been done and the limits of incorporations of the cottonseed by-products in broilers feed have been defined.

The second part of this work is about the use of the conventional cotton to evaluate its zootechnic effects on broilers production. Cottonseed kernel from seeds partial shelling in millet mill and the sifting by-product has been used. This kernel presents advantage, in comparison with the cottonseed meal, to be in less level of cell walls but also to have a nutritive quality close to the almond of the cotton seeds. Its incorporation in the experimental diets in substitution of the groundnut cake at 25, 50 and 75% levels decreased significantly the ponderal performances, the feed intake, the feed efficiency and the nutrients digestibility. The weakest incorporation during this study resulted in a reduction of at least of the half of the animal's body weight. This tendency maintained itself to all levels of substitution with, as corollary, an increasing mortality after 6 weeks for the group which have received the diet with 75% of groundnut substitution. The negative effect of the gossypol on the diets appetite which would be at the origin of the weak body weights of the broilers and the toxicity of this substance for these animals has been underlined.

This study showed that the glanded cottonseed by-product must be excluded in broilers diets. However, they could constitute an alternative in family poultry where the growth of the animals is very slow because of the rarity of feed resources and the availability of this resource in the cotton zones of developing countries. Indeed, levels of incorporation which could average 10% in broilers diets with long breeding period have thus been determined.

The third part of this work describes two experimentations with the use of cottonseed kernels from cotton varieties without gossypol glands on the seed ("glandless ") in replacement of the groundnut cake. In a first time, a protocol similar to the one of the conventional cotton has been applied with the same levels of substitution (0, 25, 50 and 75%). In contrary with the glanded cottonseed kernels, an increase of the ponderal performances which was consecutive to the best level of feed intake has been

underlined since the starting period. These better growths didn't give a better feed efficiency of the diets with glandless cotton. Except the proteins of which the digestibility wasn't evaluated for technical reasons, no difference has been observed on the nutrients digestibility of the various experimental diets. Mortalities were also in conformity with the norms in the experimental zone. The exam of the carcasses showed a more important development of the pectoral muscles (the breast) and of the thighs of the animals which received the high incorporation levels of cotton. The difference of the fatty acid composition in oils of the cottonseed kernels and the groundnut seed, the groundnut oil which was adding to the control diet and substituted in the different experimental feed according to the level of the incorporation of cotton almonds, conducted to the study of the fatty acids profile of the lipids of the muscles and abdominal fat. An increase of the levels of linoleic acid in opposite effect of the oleic acid - more present in groundnut oil - has been underlined.

These positive effects of glandless cotton have been confirmed by another experimentation having compared the control diet with a food presenting a total substitution of the groundnut cake by the cottonseed kernel, with also a simple formulated diet for the non-professional poultry farmers, and finally with a food ratified of trade. The total substitution of groundnut cake didn't result in a decrease of performances. The weak performances of the animals feeding with the simple formulated diet, constituted essentially of corn, cottonseed kernel and CMV, let consider its popularization family poultry where accelerated growths wasn't a priority.

Following the positive effects observed with the cottonseed kernel in substitution of the groundnut cake, a fourth part has been reached to discriminate the proteins and the lipids effects of this diet. A test which include the presence or not of protein of cotton and the presence or not of cotton lipids, has been conducted. For that, a part of the cottonseed kernel was delipided to be associated to the groundnut oil; the extracted oil has been used with the groundnut cake, while the non-delipided cottonseed kernel represented the diet rich in protein and oil of cotton. At the end, experimental diets were in the same level of lipid and protein. No significant difference associated to the main source of lipids has been observed on the growing parameters and the feed intake. A high appetite with the cotton proteins has in contrary been underlined and gave better ponderal performances at the broilers feeding with the proteins of cotton. Besides, the animals feeding the delipided cottonseed kernel and the groundnut oil gave the higher weights and feed intake than those fed with diets containing the undelipided cottonseed kernel. The study of the fatty acid composition showed an improvement of the levels of PUFA in the intra-muscular lipid of the animals feeding with diets of the cotton proteins. In the lipids of abdominal fat, cotton oil increased the level of PUFA and especially in linoleic acid which is in high level in cotton oil. Lipids in diets have been deposited mainly in a mechanical way to the abdominal fat.

In conclusion this study showed that it is possible to use the cottonseed kernel of cotton varieties without gossypol glands as diet in broilers production to improve the animal's performances. In the developing countries where the animals feed factories are obliged to import some protein premix, the popularization of varieties exempt of gossypol glands only in their seed could constitute a real opportunity.

---

## **Table des matières**

<b>AVANT-PROPOS</b> -----	<b>1</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> -----	<b>2</b>
<b>CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE</b> -----	<b>5</b>
<b>Les co-produits de la graine de coton en alimentation du poulet de chair</b> -----	<b>6</b>
1. Introduction -----	7
2. Traitements des graines de coton -----	8
3. Composition chimique des co-produits de la graine de coton-----	9
3.1. <i>Composition chimique des tourteaux de coton</i> -----	9
3.2. <i>Composition chimique de l'huile de coton</i> -----	10
3.3. <i>Le gossypol</i> -----	11
3.3.1. <i>Les teneurs en gossypol dans les co-produits du coton</i> .....	11
3.3.2. <i>Les effets du gossypol sur les poulets</i> .....	12
4. La détoxification du gossypol -----	13
4.1. <i>Le traitement physique</i> -----	14
4.2. <i>L'apport d'ions métalliques</i> -----	14
4.3. <i>La fermentation biologique</i> -----	15
4.4. <i>L'extraction au solvant</i> -----	16
4.5. <i>La supplémentation en lysine</i> -----	16
4.6. <i>La sélection végétale : les variétés glandless</i> -----	17
5. Taux d'incorporation et effets zootechniques -----	18
6. Conclusion -----	20
Remerciements-----	20
Références bibliographiques -----	20
<b>CHAPITRE II : L'EMPLOI DU COTON CONVENTIONNEL EN PRODUCTION DE POULETS AU SENEGAL</b> -----	<b>43</b>
<b>Effets de la substitution du tourteau d'arachide par la fève de coton conventionnel en production de poulet de chair au Sénégal</b> -----	<b>44</b>
1. Introduction -----	45



2.	Matériels et méthodes-----	46
2.1.	<i>Provenance des aliments</i> -----	46
2.2.	<i>La conduite des animaux</i> -----	46
2.3.	<i>Digestibilité des nutriments</i> -----	47
2.4.	<i>Analyses chimiques et calculs</i> -----	47
2.5.	<i>Analyse des données</i> -----	47
3.	Résultats-----	48
3.1.	<i>Performances pondérales</i> -----	48
3.2.	<i>Digestibilité des nutriments</i> -----	49
3.3.	<i>Evaluation économique</i> -----	49
4.	Discussion-----	49
4.1.	<i>Performances zootechniques</i> -----	49
4.2.	<i>Digestibilité des nutriments</i> -----	52
5.	Conclusion-----	52
	Références bibliographique-----	52

**CHAPITRE III : LA FEVE DE COTON « GLANDLESS » EN PRODUCTION DE POULETS AU SENEGAL 59**

	<b>Effect of groundnut cake substitution by glandless cottonseed kernels on broilers production: animal performance, nutrient digestibility, carcass characteristics and fatty acid composition of muscle and fat-----</b>	<b>60</b>
1.	Introduction-----	61
2.	Materials and Methods-----	61
3.	Results-----	64
4.	Discussion-----	66
5.	Conclusion-----	68
	Aknowledgements-----	68
	References-----	68

<b>Effets de la substitution totale du tourteau d'arachide par la fève de coton Glandless sur les performances zootechniques de poulets de chair au Sénégal</b> -----	<b>78</b>
1. Introduction -----	79
2. Matériels et méthodes -----	80
2.1. <i>Conduite des animaux</i> -----	80
2.2. <i>Analyses chimiques et calculs</i> -----	81
2.3. <i>Analyse des données</i> -----	81
3. Résultats -----	82
4. Discussion -----	83
5. Conclusion -----	87
Remerciements-----	87
Références bibliographique -----	87

**CHAPITRE IV : EFFETS SPECIFIQUES DES PROTEINES ET LIPIDES DE COTON EN PRODUCTION DE POULETS AU SENEGAL**----- **96**

<b>Effect of protein and lipid sources on broilers receiving diets based on groundnut cake and cottonseed kernel: animal performances, nutrient digestibility and carcass characteristics</b> ----	<b>97</b>
1. Introduction -----	98
2. Materials and methods -----	99
2.1. <i>Processing of extracting oil</i> -----	99
2.2. <i>Animals and management</i> -----	99
2.3. <i>Chemical analysis and calculations</i> -----	100
2.4. <i>Data analysis</i> -----	101
3. Results-----	101
3.1. <i>Animal performances</i> -----	101
3.2. <i>Nutrients digestibility</i> -----	102
3.3. <i>Carcass components</i> -----	103
4. Discussion -----	103
4.1. <i>Animal performances</i> -----	103
4.2. <i>Nutrients digestibility</i> -----	105

4.3. Carcass components -----	106
5. Conclusion -----	106
Aknowledgements -----	106
References -----	107

**Influence des protéines et lipides de coton et d’arachide sur les performances individuelles et la composition en acide gras des muscles et graisses de poulets -----** Erreur ! Signet non défini.

1. Introduction -----	116
2. Matériels et méthodes -----	116
2.1. Production de la fève de coton et processus de trituration -----	116
2.2. La conduite de l’essai -----	117
2.3. Analyses chimiques -----	117
2.4. Analyse des données -----	118
3. Résultats -----	119
4. Discussion -----	120
5. Conclusion -----	123
Remerciements -----	123
Références bibliographique -----	123

**CHAPITRE V : DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES ----- 130**

**Discussion générale ----- 131**

1. L’emploi du coton conventionnel en production de poulets -----	131
2. La fève de coton « Glandless » en production de poulets -----	133
3. Effets spécifiques des protéines et lipides de coton en production de poulets -----	137

**Conclusion générale ----- 139**

**Références bibliographique ----- 140**

*« Les pays africains ne doivent pas s'attendre à obtenir une compensation financière pour les dommages causés par les subventions accordées par les pays industrialisés à leurs producteurs de coton. Mais ils peuvent obtenir une assistance extérieure pour améliorer la productivité de leurs filières cotonnières » Goreux (2005)*

## Avant-propos

---

Cette thèse est structurée sous forme d'une compilation d'articles scientifiques acceptés pour publication ou soumis dans les revues scientifiques suivantes: *International Journal of Poultry Science*, *Annales de Médecine Vétérinaire*, *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaires des Pays Tropicaux*, *Tropicultura*, *British Poultry Science* et *Biotechnologie Agronomie Société et Environnement*.

Cette étude sur la valorisation de la graine de coton exempte de glandes à gossypol comporte 5 chapitres. Après une introduction générale qui situe le contexte et les objectifs de l'étude, le chapitre I présente une synthèse bibliographique sur les co-produits de la graine de coton en production de poulet (article 1). Cette revue fait la compilation des informations les plus récentes sur les divers traitements de la graine de coton, ces contraintes en alimentation de la volaille liées principalement au gossypol, les différents procédés de détoxification et enfin les performances obtenues en alimentation des poulets de chair.

Le deuxième chapitre est relatif à l'étude des effets du coton conventionnel et notamment de sa fève qui est moins riche en constituant pariétaux sur les paramètres zootechniques en production de poulets (article 2).

Le troisième chapitre quant à lui étudie les effets de l'incorporation de la fève de coton exempte de glande à gossypol (« glandless ») en alimentation de poulets de chair. Cette partie expose les résultats de deux études qui ont été menées pour apprécier les effets de la substitution partielle du tourteau d'arachide sur les performances des animaux (article 3) et du remplacement total et de test de formule simplifiée pour les petits producteurs (article 4).

Le quatrième chapitre est relatif à des études de discriminations des effets des protéines et des lipides de cotons en comparaison à ceux de l'arachide (tourteau et huile) sur les performances zootechniques en production de poulets (article 5) et le suivi individuel de la croissance de ces animaux ainsi que la composition en acide gras de leurs muscles et graisses abdominales (article 6).

Une analyse intégrée des différents résultats a été faite et présentée au niveau du cinquième chapitre et qui est relatif à la discussion générale. Elle met ainsi en évidence la possible valorisation des graines de coton exemptes de glandes à gossypol en alimentation des poulets de chair et sa contribution à la résorption de lademande concentrée protéique dans les pays en développement pour soutenir l'essor de leur filière avicole.

---

## **Introduction générale**

Le cotonnier est une plante de la famille des Malvacées et du genre *Gossypium* qui présente 49 espèces dont quatre sont cultivées (Mergeai, 2003). Le cycle complet de culture est en moyenne de 175 jours (Parry, 1982 ; Demol, 1992) mais dépend des cultivars et des conditions pédoclimatiques (Parry, 1982). *Gossypium hirsutum* est, économiquement, l'espèce la plus importante avec près de 95% de la production mondiale. Il lui faut en moyenne 140 jours pour boucler son cycle du semis à la récolte, mais jusqu'à 210 jours en conditions défavorables (Bruinsma, 1987).

Avec une production mondiale qui est actuellement estimée à 27 millions de tonnes (Townsend, 2008), le cotonnier constitue la première plante textile au monde. L'industrie du coton fournit trois co-produits principaux : les graines, séparées des fibres de coton par égrenage, les coques et les tourteaux, issus de la production d'huile. Les graines fournissent entre 16 et 20% d'huile, 25 et 30% de coques et 45 et 50% de tourteaux (Sauvant *et al.*, 2004 ; Nagalakshmi *et al.*, 2007). La disponibilité sur le marché des co-produits du coton est tributaire de l'offre et de la demande de coton textile qui reste le débouché essentiel de la plante (Estur, 2006).

Au cours des dernières années, une chute importante des cours du coton sur le marché mondial a été observée suite à une surproduction dans différentes parties du monde et notamment de la Chine, de l'Inde, de l'Espagne et de la Grèce (Zoundi *et al.*, 2006 ; Nagalakshmi *et al.*, 2007). Cette crise, essentiellement liée à l'ampleur des subventions accordées aux producteurs de coton des pays développés et donc à la concurrence déloyale, a entraîné une paupérisation des agriculteurs des pays en développement (PVD) où le coton constitue la seule culture de rente (Améhou, 2005). Une meilleure valorisation des sous-produits de la graine devrait permettre d'augmenter le prix d'achat du coton-graine aux petits producteurs et d'améliorer ainsi leurs conditions de vie.

Cependant, l'utilisation des graines de coton en alimentation animale, de façon générale et des monogastriques, en particulier est limitée par la présence de facteur antinutritionnel (Marquié, 1995) qui font que son incorporation dans les rations est essentiellement limitée chez les ruminants (Sauvant *et al.*, 1994). En effet, le gossypol exerce un effet dépressif sur les performances des animaux et les teneurs élevés en constituant pariétaux de même que la présence d'acides gras cyclopropénoïques affectent négativement la production de volailles qui joue un rôle important dans les PVD.

Au Sénégal, la filière avicole a connu au cours de ces dernières décennies un développement spectaculaire, notamment dans sa composante moderne (aviculture semi-industrielle et industrielle). Cet essor s'explique en partie par les difficultés rencontrées par le marché traditionnel de la viande bovine dont l'offre s'avère insuffisante pour satisfaire la demande locale. Aujourd'hui, la production de la volaille industrielle se chiffre à plus de 20 000 tonnes de viande et 631 millions d'œufs, correspondant à un chiffre d'affaire de l'ordre de 68 milliards de francs CFA.

Cependant, l'alimentation constitue le facteur limitant au développement de cette activité, eu égard à l'approvisionnement en matières premières difficile, aux ruptures de stocks fréquentes et aux prix élevés et fluctuants. Le coût de l'aliment représente 60 à 80% des coûts de productions. De même, l'aviculture traditionnelle qui compte environ 18 millions de têtes (Traoré, 2006) est soumise à des conditions de production traditionnelle et familiale qui se caractérisent, entre autres, par une mauvaise alimentation due à la méconnaissance des possibilités de valorisation des ressources disponibles localement.

Et pourtant la production de graines de coton au Sénégal peut potentiellement couvrir plus de 10% des besoins en protéines et environ 15% de la demande en huile. La filière cotonnière qui constitue la seconde culture de rente après l'arachide, contribue pour 2% du PIB et engage 40 000 à 80 000 producteurs (Sy, 2006). Autrement dit, une possible valorisation de cette ressource en aviculture devrait rendre plus compétitif la filière avicole et améliorer la rentabilité de celle du coton.

Des formes mutantes de cotonniers totalement immunes de glandes à gossypol (variétés « glandless ») ont été créées mais leur vulgarisation dans les années 80 avait échoué à cause des coûts supplémentaires pour la protection phytosanitaire due à la forte sensibilité aux ravageurs de ces variétés. Par conséquent, il existe peu d'études sur la valorisation des graines de coton glandless. Aujourd'hui, par le biais du génie génétique, de nouvelles variétés de cotonnier présentant une inhibition de la sécrétion de gossypol dans la graine ont été créées (Sunilkumar *et al.*, 2006 ; Rathore, 2009). Avec la diffusion prochaine de ces variétés glandless, les effets de l'incorporation des co-produits de la graine en alimentation animale devraient être évalués.

C'est dans ce cadre que la présente thèse de doctorat a été initiée pour déterminer les niveaux d'incorporation des co-produits des graines de coton glandless en production de poulets.

De façon spécifique, ce travail a utilisé la fève de coton comme principal aliment protéique issu des graines de coton en remplacement du tourteau d'arachide. Les effets induits par cet aliment présentant ou non des glandes à gossypol ont été déterminés en production de poulets. Conformément aux objectifs du projet qui avait initié ce travail, une ration simplifiée a également été expérimentée pour sa diffusion auprès des éleveurs non-professionnels et notamment de ceux de la zone cotonnière.

Enfin, des études discriminant les effets des protéines et des lipides de la fève de coton ont complété ces travaux. Chacune des expérimentations a été complétée par une détermination de la digestibilité des nutriments et la caractérisation des carcasses des animaux.

Des recommandations pour l'incorporation des co-produits de la graine de coton glandless ont conclu ce travail.



## **Chapitre I**

---

### **Revue bibliographique**

## Les co-produits de la graine de coton en alimentation du poulet de chair

---

**Article 1** – Accepté pour publication (sous réserve de modifications) dans *Ann. Méd. Vét.*

DIAW M.T., DIENG A., MERGEAI G., HORNICK J-L.

### Résumé

Les co-produits de la graine de coton ont une très haute valeur nutritionnelle potentielle mais leur composition chimique varie fortement avec les variétés de cotonniers et les divers traitements employés lors de la trituration. Leur utilisation en production de poulets est surtout limitée par la présence de gossypol libre qui peut provoquer des lésions de divers tissus internes mais également réduire les performances de croissance et l'efficacité alimentaire de la ration. Des procédés visant à lier le gossypol libre sont utilisés pour augmenter le taux d'incorporation du tourteau dans les provendes, mais ils ne sont pas sans inconvénients. Le sulfate de fer dénature l'aliment, la supplémentation en lysine est onéreuse alors que la fermentation biologique est très complexe à réaliser et non envisageable à grande échelle. Les variétés exemptes de glandes à gossypol peuvent être facilement incorporées dans les rations et contribuer à la réduction de la demande en aliment protéique. Malheureusement, pour des problèmes de gestion de la culture, peu de travaux ont été menés en alimentation. La production de variétés présentant une inhibition spécifique de la sécrétion de gossypol avant la germination permettrait de les incorporer comme principal aliment protéique dans les provendes.

### Summary

Cottonseed by-products are very high in nutrients and their chemical composition varies highly according to the varieties of cotton and the various treatments aiming at extracting oil. Their use in animal nutrition, and particularly in broilers, is especially limited by the free gossypol which can damage various tissues and also decreases the performances of growth and diet efficiency. The incorporation of cottonseed meal in broilers diet may be increased following chemical binding of free gossypol, but these methods have drawbacks. Ferrous sulphate denatures feed and the use of lysine to bind gossypol is limited by the expensiveness of this product while the biological fermentation is very complex and inapplicable, as to now, on a large way. Glandless varieties could be incorporated at a very high level in diets and therefore could contribute to decrease the protein feed requirements. Unfortunately, agronomic constraints associated to these crops have limited the research in this way. The production of varieties in which gossypol secretion would be inhibited before the seed germination should alleviate the limitations associated to cotton by-products.

## 1. Introduction

Le cotonnier est une plante de la famille des Malvacées et du genre *Gossypium* qui comporte 49 espèces dont quatre sont cultivées (Mergeai, 2003). Le cycle complet de culture est en moyenne de 175 jours (Parry, 1982 ; Demol, 1992) mais dépend des cultivars et des conditions pédoclimatiques (Parry, 1982). La culture de *Gossypium hirsutum* joue un rôle économique considérable car cette espèce représente près de 95% de la production mondiale. Son cycle dure en moyenne 140 jours, du semis à la récolte, mais peut atteindre jusqu'à 210 jours en conditions défavorables (Bruinsma, 1987).

Avec une production mondiale qui est actuellement estimée à 27 millions de tonnes (Townsend, 2008), le cotonnier constitue la première plante textile au monde. Sa production comme sa consommation ont connu ces cinquante dernières années une hausse régulière. La récolte du coton-graine donne en moyenne 40% de fibres et 60% de graines (Dagris, 2006a) dont, selon Diouf (2006), 50% du poids sont constitués d'amandes pures, contre 40 à 45% de coques, le reste étant représenté par le duvet résiduel recouvrant la graine après arrachage des fibres - ou linter.

Cependant, la disponibilité sur le marché des co-produits du coton est tributaire de l'offre et de la demande de coton textile, qui reste le débouché essentiel de la plante (Marquié, 1995). Le coton, en tant que matière première oléoprotéagineuse, est peu utilisé. Les transactions internationales ne portent que sur 2% du commerce des huiles et seulement 1% des graines de coton produites (Estur, 2006).

Pourtant l'huile de coton arrive, avec 4,94 millions de tonnes de production, au 5<sup>ème</sup> rang mondial de la consommation d'huile alimentaire devant l'huile de palmiste (4%) et l'huile d'arachide (3%). La production de tourteaux, très riches en protéine, se situe quant à elle au 2<sup>ème</sup> rang mondial derrière le soja (Dagris, 2006b).

La valorisation du tourteau de coton en production animale est limitée par des facteurs antinutritionnels tels que le gossypol. Ce dernier est présent dans les téguments de tous les organes de la plante. Branckaert et collaborateurs avaient conclu, dès 1968, à l'impossibilité d'utiliser ce produit en quantité égales aux autres aliments protéiques tels que les tourteaux de soja et d'arachide.

Depuis, les recherches se sont poursuivies particulièrement en production de poulets. Cet article présente ainsi une synthèse des résultats qui ont été rapportés ces dernières années. Après une brève description des divers traitements habituellement appliqués aux graines de coton, une revue sur la composition chimique des tourteaux ainsi que sur les effets du gossypol en production de poulets est proposée. Finalement, divers procédés de remédiations liées à cette substance sont décrits.

## 2. Traitements des graines de coton

Trois types de traitements (thermiques, mécaniques ou chimiques) sont utilisés par les huileries durant le processus d'extraction de l'huile de la graine de coton (Figure 1). Les traitements thermiques utilisent une voie sèche (torréfaction), humide (hydrothermie) ou encore indirecte par extrusion. Lors de la torréfaction, la chaleur est transmise par conduction (colonne de cuisson), par convection (four conventionnel) ou par rayonnement (Demjanec *et al.*, 1995; McKinnon *et al.*, 1995 ; Moss *et al.*, 2000). Ces procédés sont respectivement connus, à l'échelle industrielle, sous les noms de « torréfaction » proprement dite (*roasting* en anglais), d'expansion (ou *popping*) et d'infranisation (*micronisation*). Les traitements hydrothermiques conjuguent l'action de la chaleur à celle d'une hydratation externe sous forme d'eau ou de vapeur à pression réduite (Yu *et al.*, 1999 ; Petit *et al.*, 2002). Le procédé le plus connu est l'autoclavage qui est peu pratiqué sur le plan industriel (Wallace et Falconer, 1992). L'extrusion (cuisson-extrusion) est un processus complexe au cours duquel les graines de coton sont soumises aux effets conjugués de la pression et de la température durant un temps très court (Alonso *et al.*, 2000) réduisant ainsi la digestibilité de certaines acides aminées suite à des phénomènes de polymérisation (Poncet *et al.*, 2003). Divers tests, comme celui de la lysine disponible et l'indice de disponibilité des protéines (Hsu et Satter, 1995), renseignent sur la qualité du traitement thermique.

Les traitements mécaniques divisent les graines en particules plus petites, par aplatissage, broyage (broyeur à marteaux), ou cisaillement (broyeur à couteaux) améliorant ainsi la surface de contact avec les solvants organiques lors de l'extraction (Ewing *et al.*, 1986 ; Petit *et al.*, 1997 ; Chillard *et al.*, 2001). Ce traitement permet également de séparer les amandes des coques (Poncet *et al.*, 2003).

La fève obtenue après le traitement mécanique peut être soumise à l'action d'un solvant ou d'une presse pour en extraire l'huile. L'extraction par pression peut se faire sous pression discontinue à froid (PDF) ou pression continue à chaud (PCC). En mode PDF, l'huile est extraite par pressions successives à une température inférieure à 80°C. Le rendement en huile est toutefois faible ; les tourteaux (tourteaux de pression) conservent 6 à 12% de matières grasses. L'extraction sous PCC nécessite d'abord un préchauffage jusqu'à 90°C des graines qui, ensuite, sont pressées dans une vis sans fin où la température atteint jusqu'à 120°C. Le rendement est meilleur qu'avec une PDF et le taux de MG résiduelles dans les tourteaux (appelés « expeller ») se situe entre 4 et 6%.

Lors d'une extraction au solvant, les lipides sont solubilisés dans des solvants organiques (comme l'hexane) chauffés à 50-60°C puis, extraits par percolation du solvant pendant 4 à 5 heures. Il faut ensuite distiller le mélange par chauffage à 115-120°C. Le taux d'extraction est très important et les teneurs en MG dans les tourteaux « déshuilés » sont comprises entre 0,5 et 2,5%. Ces tourteaux, présentés sous forme de fines particules ou farine, peuvent être réhumidifiés et comprimés en granulés.

### 3. Composition chimique des co-produits de la graine de coton

L'huile et le tourteau constituent les dérivés essentiels des graines de coton. D'après Jones (1985), la trituration des graines donnerait 45% de tourteau, 25% de coques, et 16% d'huile. Sauvart et collaborateurs (1994) ont rapporté qu'une tonne de graines de coton fournit environ 200 kg d'huile, 300 kg de coques et 500 kg de tourteaux. La composition chimique des sous-produits de la graine de coton varie selon qu'il s'agit de la graine entière, de l'amande ou du tourteau (Obioha, 1992 ; Atteh, 2002). Les teneurs en nutriments dépendent beaucoup de la méthode d'extraction de l'huile (Goetsch et Owens, 1985 ; Nagalakshmi *et al.*, 2007), des proportions de duvets et de linters (Lennerts, 1988) et du niveau de décorticage des graines (Balogun *et al.*, 1990).

#### 3.1. Composition chimique des tourteaux de coton

Les tourteaux constituent une source de protéine dont la teneur moyenne, par rapport à la matière sèche, est comprise entre 22,2% (Sharma *et al.*, 1978a) et 30,3% (Balogun *et al.*, 1990) pour les tourteaux de coton non décortiqué (TCND) et variant, pour ceux issus de graines décortiquées (TCD) entre 29,7 (Shekar-Reddy *et al.*, 1998) et 56,0% (Ryan *et al.*, 1986) (Tableau I). L'extraction au solvant (ou Tourteau de coton déshuilé au solvant –TCDS) donne un produit plus riche en protéine brute (PB) allant de 38,7 (Sharma *et al.*, 1978a) jusqu'à 52,0% (Reid *et al.*, 1984) avec certaines variétés sélectionnées.

Ces fortes variations résultent du processus d'extraction de l'huile (Goetsch and Owens, 1985 ; Nagalakshmi *et al.*, 2007). En effet, les graines sont parfois délignées avec de l'acide fort avant trituration pour éviter le phénomène de bourrage dans les décortiqueuses. De plus, un décorticage total ou partiel des graines a parfois lieu, une partie des coques pouvant être réincorporée pour favoriser l'extraction de l'huile. Le tourteau obtenu est donc également plus ou moins riche en fibres et plus ou moins gras.

Les teneurs en fibres brutes (FB) rapportées dans la littérature sont relativement similaires entre les TCDS et les TCD, proches de 15% de l'aliment sec, mais doublent dans les TCND (Tableau I).

L'efficacité d'extraction de la matière grasse (MG) varie d'une installation à une autre, avec des valeurs résiduelles comprises en moyenne entre 1,9 (Reid *et al.*, 1984) et 7,5% (Sharma *et al.*, 1978a) pour les tourteaux de coton expeller. L'extraction au solvant donne les plus faibles teneurs, comprises généralement entre 0,3 (Sharma *et al.*, 1978a) et 1,0% (Reid *et al.*, 1984). Les teneurs élevées en MG empêchent le bon conditionnement des aliments avec d'importantes pertes de nutriments par oxydation (Moran, 1989) entraînant, chez les poulets, une diminution de la croissance pondérale et une augmentation de l'indice de consommation (IC) (McNaughton et Reece, 1984 ; Dale et Fuller, 1979 ; Pesti *et al.*, 1983 ; Proudfoot et Hulan, 1982 ; Skinner *et al.*, 1992 ; Leclercq et Escartin, 1987).

Les résultats d'analyses effectuées sur les teneurs en acides aminés des co-produits du tourteau de coton (Tableau II) révèlent les faibles teneurs en cystine, méthionine et lysine des protéines de la graine de coton (Nzekwe et Olomu, 1982 cités par Ojewola *et al.*, 2006). Ces acides aminés sont essentiels chez certaines catégories d'animaux comme les volailles et peuvent constituer une limite quand à l'utilisation de cet aliment.

La relative faible digestibilité des protéines et des acides aminés du tourteau de coton en comparaison aux autres aliments protéiques de la volaille a été rapportée par plusieurs auteurs. Sandal (1974), cité par Nagalakshmi et collaborateurs (2007), a rapporté une digestibilité des composés azotés du tourteau de coton non décortiqué comprise entre 26,5 et 47,0%. Des digestibilités apparentes de 42,0, 47,0 et 36,0% pour respectivement le tourteau de coton non-décortiqué, décortiqué et déshuilé ont été également rapportées par Sharma et collaborateurs (1978b). Azman et Yimalz (2005) ont évalué la digestibilité des protéines des tourteaux de coton entre 46,0 et 75,0%.

Watkins et collaborateurs (2002) ont estimé que celle des acides aminés était inférieure à 75,0%. Des digestibilités de 61,2, 74,2 et 67,2% ont été respectivement rapportées par Gamboa et collaborateurs (2001a) pour la lysine, la méthionine et la cystine. Pour Fernandez collaborateurs (1994, 1995), l'efficacité d'utilisation de la lysine dans le tourteau de coton est de 64,0% et celle de la méthionine et de la cystine s'élève à 72,0%. Des résultats similaires ont été rapportés par Lemme et collaborateurs (2004) avec des digestibilités iléales de 65,0, 72,0 et 74,0% pour respectivement la lysine, la méthionine et la cystine.

Enfin, le tourteau de coton constitue une bonne source de vitamine B1 (thiamine) et de vitamine E ( $\alpha$ -tocophérol). Cette dernière a une action antioxydante stabilisatrice à l'égard des acides gras poly-insaturés (PUFA) des co-produits de la fève de coton.

### **3.2. Composition chimique de l'huile de coton**

L'huile de coton est le standard de référence le plus souvent utilisé dans les tests d'évaluation du goût et de l'odeur des autres huiles alimentaires. Pour les nutritionnistes, une huile diététiquement idéale est composée d'un tiers d'acides gras saturés, un tiers d'acides gras mono-insaturés et un tiers d'acides gras poly-insaturés (Pascal, 1996). L'huile de graine de coton est la plus proche de cette composition (Tableau III).

D'autre part, ses taux élevés d'acide oléique, palmitique et stéarique lui confèrent une certaine stabilité (Pascal, 1996). Il faut noter également que l'huile de coton sans gossypol présente après raffinage un goût agréable et une composition en acides gras polyinsaturés satisfaisante sur le plan nutritionnel (Kétékou, 1985). Elle est particulièrement riche en acide linoléique (figure 2).

Enfin, l'huile de coton est riche en tocophérols qui sont des antioxydants naturels assurant sa stabilité et sa conservation à long terme. Cette forte teneur en vitamine E ( $\alpha$ -tocophérol) fait de cette huile un atout diététique potentiel.

### 3.3. *Le gossypol*

Le tourteau de coton est essentiellement valorisé chez les ruminants. Chez les monogastriques et surtout les volailles, son incorporation dans les rations est limitée par la présence de gossypol qui possède une toxicité intrinsèque et diminue également la valeur biologique des protéines (Heywang et Bird, 1955 ; Heywang et Kemmerer, 1966 ; El-Boushy et Raterink, 1989 ; Gamboa *et al.*, 2001a , b ; Azman et Yilmaz, 2005) ; par sa teneur en fibres (Phleps, 1966 cité par Gamboa *et al.*, 2001a ; Fernandez *et al.*, 1994 ; 1995 ; Ojewola *et al.*, 2005) et par la présence d'acides gras cyclopropénoïques (acides malvalique et sterculique) qui sont de puissants inhibiteurs de l'activité enzymatique de la  $\Delta 9$  désaturase, intervenant dans la transformation des acides gras (Schmidely et Sauvart, 2001).

Le gossypol ( $C_{30}H_{30}O_8$ ) est un produit du métabolisme des plantes du genre *Gossypium*, mais on l'obtient aussi à partir de l'écorce du *Thephesia populnea* qui, comme le cotonnier, est un arbuste de la famille des malvacées (King et De Silva, 1968 cités par Dao, 2002). Le poison est contenu dans des glandes présentes sur toutes les parties du cotonnier (feuilles, tiges, racines et graines) et permet de distinguer les variétés à glandes (« glanded ») des variétés sans glandes (« glandless »). Le nom « gossypol » a été proposé par Marchlewski à partir de la contraction du nom de genre de la plante (*Gossypium*) et de la principale structure de la molécule (phénol), pour indiquer son origine et sa nature chimique (Marchlewski, 1899 cité par Dao, 2002).

D'un point de vue chimique, le gossypol est un acide faible (Botsoglou et Spais, 1992) et facilement oxydable (Huang *et al.*, 1987 ; Botsoglou, 1991 ; Botsoglou et Spais, 1992). Liposoluble et de formule chimique 1,1', 6,6',7,7'-hexahydroxy-5,5'-diisopropyl-1-3,3'-diméthyl- [2,2' -binaphtalène] -8,8'-dicarboxaldéhyde (figure 3), ce pigment polyphénolique (Huang *et al.*, 1987 ; Henry *et al.*, 2001) comprend quatre noyaux benzéniques avec des ramifications d'isopropène, des hydroxyles, des aldéhydes ou des cétones (Marquié, 1995). Les groupements naphthalènes de la molécule permettent d'obtenir les énantiomères (+) et (-)-gossypol (Huang *et al.*, 1987 ; Henry *et al.*, 2001 ; Gamboa *et al.*, 2001b). Cependant, le (-)-gossypol présente la plus grande activité optique (Joseph *et al.*, 1986 ; Chen *et al.*, 1987 ; Wang *et al.*, 1987 ; Blackstaffe *et al.*, 1997).

#### 3.3.1. *Les teneurs en gossypol dans les co-produits du coton*

Dans les graines du cotonnier, le gossypol se présente sous une forme libre (GL) ou liée à des groupements « amines » (Lyman *et al.*, 1959) ou des ions métalliques (Panigrahi *et al.*, 1989) formant

ainsi, avec la fraction libre, le gossypol total (GT). La teneur en GT dans les graines est d'origine génétique (Cass *et al.*, 1991 ; Percy *et al.*, 1996). Dans les co-produits les teneurs en GT dépendent du procédé d'extraction et varient entre 0,6% (Sharma *et al.*, 1978b) et 1,4% (Panigrahi *et al.*, 1989) dans les TCD et entre 0,3% (Sharma *et al.*, 1978b) et 0,5% (Nagalakshmi *et al.*, 2001) dans les TCND (Tableau IV).

Les teneurs en GL varient en moyenne de 0,03% à 0,3% (Jones, 1981 ; Calhoun *et al.*, 1995a ; 1995b). Ces fortes variations peuvent s'expliquer par la génétique de la plante (Boatner *et al.*, 1949 cités par Gamboa *et al.*, 2001a ; Percy *et al.*, 1996) et par les conditions environnementales (Pons *et al.*, 1953 ; Stansbury *et al.*, 1956 cités par Gamboa *et al.*, 2001a). En effet, les fortes températures durant le développement de la plante et la période de maturation diminuent les teneurs en gossypol alors que les fortes pluviométries après cette période ont l'effet inverse (Pons *et al.*, 1953 ; Stansbury *et al.*, 1956 cités par Gamboa *et al.*, 2001b).

Dans le tourteau de coton non décortiqué expeller, Sharma et collaborateurs (1978b) et Nagalakshmi et collaborateurs (2001) ont rapporté respectivement des teneurs en GL de 0,06 et 0,27%. Le tourteau de coton décortiqué expeller est habituellement beaucoup moins riche en GL (entre 0,02 et 0,19% selon respectivement Waldroup et Goodner (1973) et Gamboa *et al.* (2001b)) que le tourteau déshuilé au solvant (entre 0,047 et 0,53% selon respectivement Sharma *et al.* (1978b) et Waldroup et Goodner (1973)). Cette différence est liée aux variations de température, du temps de chauffage, de l'humidité et de la pression durant la trituration (Pons et Guthrie, 1949 ; Pons *et al.*, 1955 cités par Wen-ju *et al.*, 2006 ; Altschul *et al.*, 1958 ; Berardi et Goldblatt, 1969 ; Calhoun *et al.*, 1995b ; Forster et Calhoun, 1995).

De plus, durant l'extraction de l'huile, la rupture des glandes permet aux groupements aldéhydes du gossypol de former des liaisons imines (bases de Schiff) stables avec les groupements amine libres des protéines et peptides et spécialement ceux de la lysine donnant ainsi du gossypol lié (Lyman *et al.*, 1959 ; Baliga *et al.*, 1959 ; Phleps, 1966) qui n'est pas absorbé dans le tractus digestif (Wen-ju *et al.*, 2006).

### **3.3.2. Les effets du gossypol sur les poulets**

En alimentation animale, le gossypol n'est toxique que sous sa forme libre (Couch *et al.*, 1955 ; Smith, 1970 cités par Henry *et al.*, 2001). Le GL peut fixer les très faibles quantités de lysine disponibles dans le tourteau pour former un complexe limitant sa biodisponibilité. Si les teneurs en lysine sont très faibles, le gossypol peut alors inhiber l'activité des enzymes de la lumière intestinale telles que le pepsinogène, la pepsine et la trypsine (Sharma *et al.*, 1978b).



Le GL absorbé par les volailles se lie non seulement aux protéines mais aussi aux composés ferriques, tels que le sulfate de fer, présents dans leur organisme (figure 4). En se liant au fer, il inhibe la synthèse de l'hémoglobine et donc la respiration enzymatique (Ferguson *et al.*, 1959 et Skutches *et al.*, 1973 ; 1974). L'usage des tourteaux de coton en alimentation des animaux monogastriques et principalement de la volaille requiert donc de connaître les teneurs en GL, en lysine et en composés ferriques dans la ration.

Janero et Burghardt (1988) rapportent que le gossypol peut également réagir avec les membranes biologiques en promouvant la formation de radicaux libres avec une diminution des teneurs en antioxydants tels que l' $\alpha$ -tocophérol, le  $\beta$ -carotène, l'acide ascorbique et le glutathion peroxydase (Bender *et al.*, 1988; Lane et Stuart, 1990 ; Willard *et al.*, 1995).

Au niveau zootechnique, le gossypol exerce des effets négatifs sur les gains de poids, l'IC, les taux de ponte et d'éclosion, altère la coloration du blanc et du jaune d'œuf et induit de fortes mortalités (Narain *et al.*, 1961 ; Wal, 1970 ; Tacher *et al.*, 1971 ; Morgan *et al.*, 1988 ; Willard *et al.*, 1995).

Clawson et Smith (1966) ont observé une diminution de la consommation alimentaire à partir de 244 mg de GL par kg d'aliment. A l'opposé, après avoir détoxifié le gossypol dans l'aliment, Husby et Kroening (1971) ont observé une augmentation de la prise alimentaire atteignant + 3,2 à + 10,7 g d'aliment ainsi qu'une diminution de l'IC.

Le gossypol se concentre de manière quantitative dans le foie (figures 5 et 6). Les reins et le cœur constituent les seconds organes d'accumulation. Les teneurs en gossypol dans le plasma restent relativement faibles et à l'état de trace dans les muscles pectoraux (moins de 7,4 ppm et 2,5 ppm pour respectivement la (+) et la (-) gossypol). Les figures 7 et 8 donnent, après 3 et 6 semaines d'élevage, les niveaux d'accumulation du gossypol (respectivement la (+) et la (-)-gossypol) dans le foie en fonction du taux d'incorporation de tourteau de coton dans l'aliment (Gamboa *et al.*, 2001b).

Cependant, les études de Heywang et Bird (1955), Clawson et Smith (1966) et Martin (1990) ont montré que plusieurs facteurs, comme l'âge, la souche de volailles et évidemment le fer et la lysine contenus dans l'aliment peuvent affecter la tolérance des oiseaux au GL.

#### **4. La détoxification du gossypol**

Les travaux qui ont été menés pour détoxifier le « gossypol-libre » et améliorer la valeur nutritive des rations se sont basés sur divers traitements physique, chimique ou biologique tels que des procédés d'extraction de l'huile au solvant lors de la trituration, la supplémentation en acides aminés ou en vitamines et des travaux en amélioration végétale pour l'obtention de variétés « glandless ».

#### **4.1. Le traitement physique**

Shah et collaborateurs (1986) ont rapporté que le fait de rincer à l'eau le tourteau de coton durant 30 et 60 minutes entraînait une diminution de sa teneur en GL qui passait de 0,3% à respectivement 0,18 et 0,12% avec cependant une baisse de sa valeur protéique. Selon les mêmes auteurs une cuisson de 15 minutes au minimum est deux fois moins efficace. La cuisson à sec est moins efficace puisque du tourteau porté à 130° pendant une période de 60 et 90 minutes a entraîné une réduction de la teneur en GL qui est passée de 0,09% à seulement 0,07% (Mayorga *et al.*, 1975).

Le chauffage à l'autoclave, quant à lui, favorise la fixation du gossypol sur des protéines solubles et des acides aminés, notamment la lysine, formant ainsi un complexe non absorbable par les animaux et réduisant donc la valeur nutritive des aliments (Smith, 1972). L'effet est cependant limité. Nagalakshmi (2002) a rapporté que 45 minutes de chauffage à l'autoclave du tourteau de coton permettaient une réduction de la teneur en GL de 0,27 à 0,20% et qu'au-delà aucune diminution significative de cette concentration n'était observée.

Le chauffage à la vapeur quant à lui, réduit significativement aussi les teneurs en gossypol. Après 15 minutes la teneur en GL diminue de moitié environ. Durant la granulation avec de la vapeur à 93°C, une diminution de la teneur en GL de plus de 70% de la teneur en GL peut être observée (Barraza *et al.*, 1991). Toutefois, les tests menés en aviculture ont montré que, sur le plan physique, l'extrusion et le chauffage sont les procédés les plus efficaces (Henry *et al.*, 2001).

#### **4.2. L'apport d'ions métalliques**

L'incorporation de fer dans l'aliment demeure la technique la plus utilisée en aviculture surtout en production d'œufs où la durée de l'élevage fait que le peu de GL dans la ration, s'il n'est pas traité, peut s'accumuler dans l'organisme des animaux (foie, reins, cœur, etc.) et entraîner des incidences négatives sur la production. Le GL est susceptible de fixer les ions métalliques tels que le fer ( $Fe^{2+}$ ) et le calcium ( $Ca^{2+}$ ) pour former des sels à pH neutre, donnant ainsi du gossypol lié (non toxique).

L'addition de sulfate de fer peut ainsi réduire le niveau de gossypol libre du tourteau de coton jusqu'à moins de 0,04% (Phleps, 1966 cité par Watkins *et al.*, 1993). Des études approfondies ont ainsi montré que l'addition de sulfate de fer dans les rations contenant du tourteau de coton réduisait les effets néfastes du gossypol chez les porcs et les volailles (Panigrahi *et al.*, 1989 ; Barrazza *et al.*, 1991 ; Panigrahi et Morris, 1991 ; Boling *et al.*, 1998).

Panigrahi et Morris (1991), quant à eux, suggèrent une supplémentation en sels de fer sous forme solide. En effet, le fer solubilisé diminue significativement la prise alimentaire et le taux de ponte (Panigrahi, 1992). De plus, des effets négatifs peuvent être observés lors d'une incorporation excessive

dans les provendes (Nagalakshmi *et al.*, 2007). Un seuil d'addition de 100 mg/kg a été proposé par Mc Ghee et collaborateurs (1965) pour les volailles.

L'excès de fer pourrait également réduire l'absorption du phosphore (Cox *et al.*, 1931 ; Deobald et Elvehjem, 1935 ; Mc Donald *et al.*, 1981 cités par Nagalakshmi *et al.*, 2007) ou interférer avec le métabolisme du cuivre (Hill et Matrone, 1961) et du manganèse (Matrone *et al.*, 1959).

El-Boushy et Raterink (1989) ont ajouté 300 à 600 mg/kg de fer à des aliments pour poulets, dosant 0,04% de GL, avec un taux d'incorporation de tourteau de coton de 24%. Ils ont observé une augmentation des gains de poids et de l'ingestion mais sans aucune incidence sur l'indice de consommation (IC). Par contre, Fletcher et collaborateurs (1953) ont souligné que l'utilisation du fer, du fait de son pouvoir oxydant, entraîne une dénaturation de l'aliment. Son incorporation dans les provendes n'est pas souvent acceptée par les aviculteurs (Henry *et al.*, 2001). En effet, selon Wen-ju et collaborateurs (2006), l'apport de fer donnerait à l'aliment une coloration noire qui aurait une incidence directe sur l'ingestion des oiseaux.

Les sels de calcium sont aussi couramment utilisés pour réduire la teneur en GL dans les tourteaux de coton (Braham *et al.*, 1967 ; Shah *et al.*, 1986 cités par Nagalakshmi *et al.*, 2001). L'apport de 1% d'hydroxyde de calcium (ou  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) pour traiter le tourteau de coton a permis à Braham et collaborateurs (1967) de faire passer la teneur en GL de 0,044 à 0,026%.

### **4.3. La fermentation biologique**

La détoxification par fermentation microbienne est une autre voie d'amélioration de la valeur nutritive des résidus d'extraction de la graine de coton. Wen-ju et collaborateurs (2006) ont utilisé des champignons des espèces *Candida tropicalis*, *Saccharomyces cerevisiae* et *Aspergillus niger* pour réduire la teneur en gossypol du tourteau de coton qui est passé de 549 mg/kg à respectivement 29,8, 63,1 et 81,5 mg/kg.

D'autre part, la détoxification par voie biologique du gossypol s'accompagne d'une amélioration de la teneur en PB et en acides aminés (Wu et Chen, 1989 et Shi *et al.*, 1998). En effet, l'inoculation du tourteau de coton par *Aspergillus oryzae* et *Aspergillus janus* pendant 48 heures augmente significativement ses teneurs en méthionine et lysine (Aduku et Sell, 1986 cités par Nagalakshmi *et al.*, 2007). L'incorporation de ce tourteau fermenté à raison de 27% dans une provende améliore les performances pondérales et l'efficacité alimentaire chez les poulets. Zhang et collaborateurs (1990) ont identifié 6 acides aminés (méthionine, lysine, valine, thréonine, isoleucine et leucine) dont les teneurs sont modulées par le processus de fermentation. Les teneurs en méthionine et lysine sont passées de respectivement 0,22 à 0,35% et de 1,04 à 1,10% soit 57,4 et 5,6% d'augmentation, alors que pour l'arginine, une diminution de 2,63 à 2,37 a été rapportée (Wen-ju *et al.*, 2006). Une

augmentation de la digestibilité des différents acides aminés a également été observée par Wen-ju et collaborateurs (2006) avec, pour la méthionine et la lysine, des valeurs qui sont passées de 49,7 à 67,0% et de 50,1 à 61,2%.

Cependant, la fermentation du tourteau comme méthode de détoxification du gossypol est encore à l'étude et est limitée par la disponibilité des ressources microbiennes.

#### **4.4. L'extraction au solvant**

Les molécules toxiques présentes dans les graines de coton sont toutes solubles dans les solvants organiques comme l'hexane, l'alcool éthylique, une solution aqueuse d'acétone ou l'acide butanolique. L'éthanol entraîne une réduction de la teneur en gossypol dans le tourteau de coton de 70,0% (Hron *et al.*, 1994). Liu et collaborateurs (1981) ont rapporté une réduction des teneurs en gossypol libre et lié de respectivement 0,04 à 0,01% et 0,55 à 0,32% pour le tourteau de coton traité à l'éthanol à 50°C.

L'acétone permet également, d'après Pons et Eaves (1971) et Damaty et Hudson (1975), de réduire la teneur en GL du tourteau de coton ; mais Alyevand et collaborateurs (1967) cités par Nagalakshmi et collaborateurs (2007) ont rapporté la persistance de son odeur sur l'aliment et donc son inappétence pour les animaux. L'extraction à l'isopropanol et à l'hexane a réduit le GL du tourteau de coton de 0,06 à moins de 0,01% ; cependant, leur utilisation n'est pas recommandée pour des raisons techniques, économiques et environnementales (Reid *et al.*, 1987).

Dans les huileries, l'extraction au solvant des huiles des graines de coton est couramment utilisée (Damaty et Hudson, 1975 ; Canella et Sodini, 1977 ; Cherry et Gray, 1981 ; Rhama et Narasingo-Rao, 1984) et permet d'obtenir des teneurs variant de 0,03 à 0,14% de GL et 1,09 à 1,16% de gossypol lié (Proctor *et al.*, 1968 ; Vix *et al.*, 1971 ; Yu *et al.*, 1993).

#### **4.5. La supplémentation en lysine**

En fixant les groupements amines grâce à ses fonctions aldéhydes, le gossypol entraîne une formation du complexe « gossypol-lysine » qui réduit la disponibilité de la lysine (Baliga et Lyman, 1957 ; Tanksley et Knabe, 1981 ; Frank, 1985 ; Ryan *et al.*, 1986 ; Yu *et al.*, 1996 ; Gamboa *et al.*, 2001b ; Azman et Yilmaz, 2005) et diminue la valeur protéique de l'aliment (Watkins *et al.*, 1993). Certains auteurs ont ainsi, à partir d'une supplémentation en lysine, réduit la biodisponibilité du gossypol dans l'organisme animal (Lyman *et al.*, 1959 ; Phleps, 1966 ; Fernandez *et al.*, 1994). Les niveaux de supplémentation s'élèvent à environ 10% des teneurs en tourteaux de coton dans la ration (Watkins *et al.*, 1993 ; Sekhar-Reddy *et al.*, 1998 ; Henry *et al.*, 2001).

Il faut noter cependant que l'excès de lysine peut accroître les besoins en arginine de la volaille (Zhang *et al.*, 1990 ; Chamruspollert *et al.*, 2002). De plus, la lysine est un acide aminé (AA) coûteux à utiliser, d'autant plus que le GL le rend indisponible.

#### **4.6. La sélection végétale : les variétés glandless**

Les recherches sur le coton sont également marquées, ces dernières décennies, par les travaux de sélection visant à éliminer les glandes à gossypol sur la plante et surtout sur la graine. En effet, depuis les années 80, les phyto-généticiens sont parvenus à obtenir des variétés de coton quasiment indemnes de glandes à gossypol : ce sont les variétés dites « glandless ».

Reid et collaborateurs (1984) rapportent que les teneurs en GL des tourteaux issus de ces cotons sont inférieures à 0,01%, avec une meilleure digestibilité de la lysine (81,9% contre 71,7% pour le coton conventionnel).

En 1994, l'introduction de telles variétés (CSA, GL5, ISA et GL7) en Côte d'Ivoire avait poussé les limites de la culture jusqu'à 60% des terres emblavées par la culture de coton. En effet, ces variétés possèdent un rendement en fibre supérieurs à celui des variétés classiques et permettent leur utilisation en alimentation humaine et animale (Benbouza, 2004). Cependant, l'absence totale de glandes à gossypol se traduit par une nette augmentation de la sensibilité de la plante aux ravageurs avec, comme corollaire, une réduction de la rentabilité de la culture et des conséquences néfastes sur l'environnement par l'application de quantités plus importantes de pesticides. D'après Wen-Ju et collaborateurs (2006), la culture de coton « glandless » dans le monde est actuellement inférieure à 0,5% de la superficie emblavée. Seules les variétés « M124-10 » et « M307-10 », qui présentent un meilleur comportement agronomique, sont encore utilisées. Une solution à ce problème est donc la création de variétés de cotonniers qui présentent des glandes à gossypol sur toute leur partie aérienne excepté la graine.

Certains cotonniers diploïdes sauvages australiens appartenant aux espèces *Sturtia* et *Hibiscoidea* du genre *Gossypium* présentent une inhibition de la synthèse du gossypol au niveau de la graine. Chez ces espèces, les glandes sont présentes dans la graine mais la synthèse du gossypol ne commence qu'après la germination (Mergeai, 2003). Le transfert de ce caractère chez les espèces de cotonniers cultivés permettrait d'exploiter leur haut potentiel nutritionnel tout en maintenant le mécanisme de défense naturel contre les insectes que constituent les glandes à gossypol dans les organes aériens de la plante.

Vroh-Bi et collaborateurs (1999) ont mis en évidence trois fragments de chromosomes de l'espèce *Gossypium sturtianum* impliqués dans l'expression de l'inhibition spécifique de la synthèse du gossypol dans la graine avec la présence sur au moins un de ces fragments d'un facteur de létalité qui s'exprime à l'état homozygote.

De plus, il existe aujourd'hui des variétés de cotonniers transgéniques dont les teneurs en gossypol sont réduites dans les graines mais avec des concentrations similaires à celles du cotonnier conventionnel dans le reste de la plante, permettant sa défense contre les ravageurs (Sunilkumar *et al.*, 2006). Cependant, les brevets liés à ces variétés constituent encore un obstacle pour la diffusion des résultats (Rathore, 2009).

## 5. Taux d'incorporation et effets zootechniques

Beaucoup de travaux ont été menés pour déterminer la limite d'incorporation du tourteau de coton dans les rations pour poulets. Les premiers résultats rapportés ont montré que la tolérance des oiseaux au GL dans les provendes varie de 0,016% (Heywang et Bird, 1955) à 0,1% (Narain *et al.*, 1960 et Lipstein et Bornstein, 1964 cités par Nagalkshmi *et al.*, 2007). Cette forte variation du niveau de tolérance au gossypol est liée à l'âge et aux souches de poulets (Heywang et Birds, 1955), à la qualité et à la quantité de protéines dans l'aliment (Narain *et al.*, 1960 ; 1961 cités par Nagalakshmi *et al.*, 2007) et à la composition minérale et surtout en fer de la provende (Bressani *et al.*, 1964).

Jusqu'à 0,01 et même 0,015% de GL dans l'aliment, les performances des poulets ne sont pas affectées (Smith, 1970 ; Waldroup, 1981 ; Hermes *et al.*, 1983). Azman et Yilmaz (2005) n'ont observé aucun effet significatif sur les performances des poulets avec des rations dont le niveau de GL était inférieur à 200 ppm. Heywang et Kemmerer (1966) et Hermes et collaborateurs (1983) ont même élevé ce niveau jusqu'à 250 ppm. Enfin, Couch et collaborateurs (1955) rapportent n'avoir observé aucun effet négatif sur la croissance et la prise alimentaire des volailles avec un aliment contenant 600 ppm de GL.

Toutes choses étant égales, les poulets expriment de meilleures performances lorsque le tourteau de coton est issu de graines décortiquées et lorsqu'il a été obtenu par extraction des lipides au solvant (Sharma *et al.*, 1978b). Avec des taux d'incorporation progressifs de tourteau de coton semi-décortiqué à 0,17% de GL, El-Boushi et Raterink (1989) ont observé des effets négatifs sur les performances pondérales des poulets au-delà de 8% d'incorporation.

Wal (1970) a conseillé de ne pas dépasser 14 à 15% de tourteau de coton dans des rations de démarrage de poulets de chair. Sekhar-Reddy et collaborateurs (1998) ont rapporté que le tourteau de coton décortiqué et déshuilé pouvait être incorporé jusqu'à 21% dans les aliments pour poulets. D'après Njike (1975) et Nzekwe et Olomu (1982), le tourteau de coton peut substituer de 50 à 75% du tourteau d'arachide, ce dernier devant apporter 30 à 40% des protéines de la ration. Le « National Research Council » (NRC), quant à lui, fixe la limite d'incorporation du tourteau de coton à 20% (NRC, 1994). Les limites sont plus élevées avec le TC « glandless ». Watkins et collaborateurs (2002)

ont incorporé jusqu'à 20% de tourteau de coton dégossypolé dans la ration sans aucune incidence sur les performances des poulets, et jusqu'à 30% si le tourteau a été déshuilé.

Campbell (1988) a rapporté que la substitution totale du tourteau de soja par le tourteau de coton (15% d'incorporation) entraînait une baisse de la croissance et de l'ingestion des animaux. Cependant, le tourteau de coton déshuilé au solvant pouvait être incorporé à raison de 10% dans des aliments pour poulets, sans supplémentation en fer (Elangovan *et al.*, 2003). Avec 30% d'incorporation de TC dans les rations, aucun effet négatif sur les performances pondérales des oiseaux et l'efficacité alimentaire de la ration n'a été observé par Reddy et Eshwaraiah (1987) durant la période de démarrage. Yo (1991) n'a observé aucun effet négatif sur les performances pondérales des poulets recevant une ration contenant jusqu'à 20% d'amande de graines de coton « glandless », malgré une ingestion supérieure pour les aliments contenant le coton.

De plus, la croissance pondérale de poulets n'a pas été affectée par l'incorporation de 15% de tourteau de coton non-décortiqué (à 0,06% de GL), bien que l'efficacité alimentaire de la ration ait diminué (Sharma *et al.*, 1978b). L'incorporation jusqu'à 30% de tourteau de coton (à 0,02% de GL) par Watkins et collaborateurs (1993) n'a révélé aucun effet négatif sur les performances de croissance des poulets ; cependant, la prise alimentaire a été plus élevée ( $P < 0,05$ ) entraînant ainsi une faible augmentation de l'indice de consommation. Gamboa et collaborateurs (2001b) et El-Boushy et Raternick (1989) n'ont, jusqu'à des niveaux d'incorporation de tourteau de coton respectivement de 21% et 16%, détecté aucun effet négatif sur le poids animaux (respectivement 2269 g et 1793 g, figure 9). Sekhar-Reddy et collaborateurs (1998) ont obtenu des performances plus faibles en substituant le tourteau d'arachide par le TC décortiqué et déshuilé mais n'ont mis en évidence aucun effet significatif sur le poids des animaux avec 21% d'incorporation dans l'aliment. Les IC obtenus par Gamboa et collaborateurs (2001b) et El-Boushy et Raternick (1989) ont été similaires et très faibles (figure 10) contrairement à celles rapportées par Sekhar-Reddy et collaborateurs (1998) où une efficacité alimentaire de l'ordre de 2,5 a été enregistrée.

Divers traitements ont été appliqués par les différents auteurs pour atténuer les effets des GL sur les performances zootechniques. El-Boushy et Raternick (1989) ont rapporté qu'un apport de 0,03% de fer a permis de corriger les baisses de poids observées lors d'une incorporation de 24% d'un tourteau à 0,17% de GL (figure 11). L'apport par Sekhar-Reddy et collaborateurs (1998) de 0,29% de L-lysine dans un aliment où le tourteau de coton était incorporé à raison de 28% a eu le même effet correcteur (figure 12) alors que la supplémentation à l'aide de 0,10% de fer n'a eu que peu d'effets. D'autre part, aucun effet significatif n'a été enregistré par El-Boushy et Raternick (1989) sur l'efficacité alimentaire lors de la supplémentation en fer alors que Sekhar-Reddy et collaborateurs (1998) ont observé un effet positif avec la lysine (figures 13 et 14).

Ces résultats révèlent une diminution des performances pondérales des poulets et une augmentation de l'indice de consommation à partir de respectivement 150 et 60 ppm de GL dans la ration. A de tels taux, la supplémentation à l'aide de 2% de lysine permet de corriger ces effets négatifs.

Les études rapportant l'effet du TC sur la qualité de la carcasse et le profil en acides gras des muscles et de la graisse sont rares. Toutefois, Watkins et collaborateurs (2002) ont observé une diminution du rendement carcasse et des quantités de graisses abdominales lors de la substitution totale du tourteau de soja par le tourteau de coton déshuilé au solvant à raison de 30% de la ration.

## 6. Conclusion

La graine de coton présente potentiellement un intérêt nutritionnel élevé en production de poulet. Le gossypol constitue une limite pour la valorisation de cette ressource alimentaire. Les techniques de dégossypolisation ont permis d'atténuer ses effets mais elles présentent de nombreux inconvénients. Les variétés de coton sans gossypol présentent quant-à elles, des problèmes d'ordre phytotechnique. Aujourd'hui, la production de variétés de cotonniers manifestant une inhibition spécifique de la production de gossypol dans la graine permet d'envisager l'incorporation des co-produits de ces graines à des taux particulièrement élevés, susceptibles de concurrencer les tourteaux classiquement utilisés en aviculture.

## Remerciements

Ce travail entre dans le cadre de la thèse de doctorat en Productions animales du projet « PIC » portant sur l'*Amélioration de la rentabilité financière de la filière de coton au Sénégal* financé par la Commission Universitaire au Développement (CUD) de la Belgique. Les auteurs remercient chaleureusement cette organisation.

## Références bibliographiques

- ADUKU A.O., SELL J.L. Fungus-fermented cottonseed meal effect on growth of broilers. *Poult. Sci.*, 1986, **58**, 1030.
- ALONSO R., ORUE E., ZABALZA M.J., GRANT G., MARZO F. Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins. *J. Sci. Food Agric.*, 2000, **80**, 397-403.
- ALTSCHUL A.M., LYMAN C.M., THURBER F.H. Processed plant protein feedstuffs. In Academic press: NewYork, 1958, 534p.
- ALYEVAND F., COLEMAN G., HAISMAN D.R. Fatty odours in food: the reaction between mesityloxyde and sulfur compounds in foddstuffs. *Chem. Industry*, 1967, **37**, 1563–1569.



- ATTEH J.O. Principles and practice of livestock feed manufacturing. Adlek Printers Llorin: Nigeria, 2002, 67p.
- AZMAN M.A., YILMAZ M. The growth performance of broiler chicks fed with diets containing CSM supplemented with Lysine. *Rev. Med. Vet.*, 2005, **156**: Suppl 2, 104–106.
- BALIGA B.P., LYMAN C.M. Preliminary report on the nutritional significance of bound gossypol in cottonseed meal. *J. of Am. Oil Chem. Soc.*, 1957, **34**, 21-24.
- BALIGA B. P., BAYLISS M. E., LYMAN C. M. Determination of free lysine epsilon amino groups in cottonseed meals and preliminary studies in relation to protein quality. *Arch. Biochem. Biophysical*, 1959, **84**, 1–6.
- BALOGUN T. F., ADUKU A.O., DIM N.I., OLORUNJU S. A. A. Undecorticated cottonseed meal as a substitute for soybean meal in diets for weaner and growing-finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1990, **30**, 193–201.
- BARAZZA M.L., COPPROCK C.E., BROOKS K.N., WILKS D.L., SAUNDERS R.G., LATIMER G.W. Iron sulfate and feed pelleting to detoxify free gossypol in cottonseed diets for dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 1991, **74**, 3457–3467.
- BENBOUZA H. Introgression chez *Gossypium hirsutum* L. et cartographie au moyen de marqueurs microsatellites des gènes responsables du caractère « low-gossypol seed and high-gossypol plant » (PhD Thesis). FUSAGx : Gembloux, 2004, 266p.
- BENDER H.S., DEROLF S.Z., MISRA H.P. Effects of gossypol on the antioxidant defense system of rat testis. *Arch. Andrology*, 1988, **21**, 59–70.
- BERARDI L.C., GOLDBLATT L.A. Gossypol. In Lienner IE (Ed.), Toxic constituents of plant foodstuffs. Academic press: New York and London, 1969, 211–266.
- BLACKSTAFFE L., SHELLY M. D., FISH R. G. Cytotoxicity of gossypol enantiomers and its quinone metabolite gossypolone in melanoma cell lines. *Melanoma Res.*, 1997, **7**, 364 – 372.
- BOLING S.D., EDWARDS H.M., EMMERT J.L., BIEHL R.R., BAKER D.H. Bioavailability of iron in cottonseed meal, ferric sulfate, and two ferrous sulfate by-products of the galvanizing industry. *Poult. Sci.*, 1998, **77**, 1388–1392.
- BOATNER C.H., CASTILLON L.E., HALL C.M., NEELY J.W. Gossypol and gossypurpurin in cottonseed of different varieties of *G. Barabadense* and *G. hirsutum* and variation of the pigments during storage of the seed. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1949, **26**, 19–25.
- BOTSOGLOU N.A. High performance liquid chromatographic method for the determination of free gossypol in chicken liver. *J. Chromatogr.*, 1991, **587**, 333–337.
- BOTSOGLOU N.A., SPAIS A.B. Ion-pair, liquid chromatographic analysis of total gossypol in chicken liver. *J. Chromatogr.*, 1992, **33**, 174–176.

- BRAHAM J.E., JARQUIN, BRESSANI R., GONZALEZ J.M., ELIAS L.G. Effect of gossypol on the iron-binding capacity of serum in swine. *J. Nutr.*, 1967, **93**, 241–248.
- BRANCKAERT R., FAVIER J.C., VALLERAND E. Utilisation du tourteau de coton dans l'alimentation animale. *Zootech.*, 1968, **17**, 42–50.
- BRESSANI R. ELIAS L.G., BRAHAM J.E. All-vegetable protein mixture for human feeding. 15. Studies in dogs on the absorption of gossypol from cottonseed flour containing vegetable protein mixtures. *J. Nutr.*, 1964, **83**, 209–217.
- BRUINSMA, W. Le cotonnier In Entomologie appliquée. AGRHYMET : Pays Bas, 1987, p97.
- CALHOUN M.C., KUHLMANN S.W., BALDWIN B.C.JR. Cotton feed product composition and gossypol availability and toxicity. In: Alternative feeds for dairy and Beef Cattle (Ed.), Proceeding of the 2<sup>nd</sup> national alternative feed symposium, St Louis, MO, 1995a.
- CALHOUN M.C., KUHLMANN S.W., BALDWIN B.C.JR. Assessing the gossypol status of cattle fed cotton feed products. Proceedings of the pacific Northeast Animal Nutrition Conference (Ed.), Portland, 1995b.
- CAMPBELL L.D. Canola meal as a substitute for cottonseed meal in the diet of broiler chickens. *Nutr. Rep. Internat.*, 1988, **37**, 371–377.
- CANELLA M., SODINI G. Extraction of gossypol and oligosaccharides from oil seed meals. *J. food Sci.*, 1977, **42**, 1218–1219.
- CARD I. E. Poultry production. Lea and Febiger: Philadelphia, 1952, 225p.
- CASS Q.B., TIRITAN E., MATLIN S.A., Freire E.C. Gossypol enantiomer ratios in cotton seeds. *Phytochem.*, 1991, **30**, 2655-2657.
- CHAMRUSPOLLERT M., PESTI G.M., BAKALLI R.I. Dietary interrelationships among arginine, methionine, and lysine in young broiler chicks. *Br. J. Nutrit.*, 2002, **88**, 655–660.
- CHEN Q.Q., CHEN H., LEI H.P. Comparative study on the metabolism of optical gossypol in rats. *J. Ethnopharmacol*, 1987, **20**, 31–37.
- CHERRY J.P., GRAY S. Méthylene chloride extraction of gossypol cottonseed products. *J. Food Sci.*, 1981, **46**, 1726–1733.
- CHILLIARD Y., FERLAY A., DOREAU M. Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières : acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. INRA Prod. *Anim.*, 2001, **14**, 323-335.
- CLAWSON A.J., SMITH F.H. Effect of dietary iron on gossypol and on residues of gossypol in porcine liver. *J. Nutr.*, 1966, **89**, 307–310.
- COUSH J.R., CHANG W.Y., LYMAN C.M. The effect of free gossypol on chick growth. *Poult. Sci.*, 1955, **34**, 178–183.

- COX G., DODDS J.M.L., WIGMAN H.B., MURPHY F.J. The effects of high doses of aluminium and iron on phosphorus metabolism. In: Scientific Proceedings of the XXV meeting of the Society of Biological Chemists. *J. of Biol. Chem.*, 1931, **92**, 11.
- DAGRIS Chronique des huiles végétales et de leurs dérivés (n°1). [en ligne] (12/2006a) Adresse URL <http://www.dagris.fr/huilecoton.html>, consulté le 22/02/2007.
- DAGRIS La lettre de Dagris N°18: Coup de tonnerre à l'OMC. [en ligne] (08/2006b) Adresse URL <http://www.dagris.fr/images/lettre18.pdf>, consulté le 22/02/2007.
- DALE N.M., FULLER H.L. Effects of low temperature, diet density, and pelleting on the preference of broilers for high fat rations. *Poult. Sci.*, 1979, **58**, 1337–1339.
- DAMATY S., HUDSON B.J.F. Preparation of low gossypol cottonseed flour. *J. Sci. Food Agric.*, 1975, **26**, 109-115.
- DAO V.T., GASPARD C., MAYER M., WERNER G.H., NGUYEN S.N., MICHELOT R.J. Synthesis and cytotoxicity of gossypol related compounds. *Eur. J. Med. Chem.*, 2000, **35**, 805-813.
- DEMJANEC B., MERCHEN N.R., CREMIN J.R., ALDRICH C.G., BERGER L.L. Effect of roasting on site and extent of digestion of soybean meal by sheep : I. Digestion of nitrogen and amino acids. *J. Anim. Sci.*, 1995, **73**, 824-834.
- DEMOL, J. La connaissance de la plante. Administration Générale de la Coopération au Développement : Bruxelles, 1992, 247 p.
- DEOBALD H.J., ELVEHJEM C.A. The effect of feeding high amounts of soluble iron and aluminium salts. *Am. J. Physiol.*, 1935, **111**, 118–123.
- DIOUF B. Contribution à l'étude de l'introgession du caractère "inhibition de la synthèse du gossypol uniquement dans la graine" chez le cotonnier cultivé, par la caractérisation de la descendance BC2S1 et BC2S3 de l'hybride trispécifique (HRS) *Gossypium hirsutum* x *G. raimondii* x *G. sturtianum* (Mémoire). Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture : Thiès, 2006, 60p.
- EL BOUSHY A.R., RATERINK R. Replacement of soybean meal by cottonseed meal and peanut meal or both in low energy diets for broilers. *Poult. Sci.*, 1989, **68**, 799–804.
- ELANGO VAN A.V. MANDAL A.B., JOHRI T.S. Comparative performance of broilers fed diets containing processed meals of Bt, parental Non-BT or commercial cottonseeds. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 2003, **16**, 57–62.
- ESTUR G. Le marché mondial du coton: évolution et perspectives. *Agric.*, 2006, **15**, 9-14.
- EWING D.L., JOHNSON D.E., RUMPLER W.V. Corn particle passage and size reduction in the rumen of beef steers. *J. Anim. Sci.*, 1986, **63**, 1509-1515.
- FERGUSON T.M., COUCH J.R., RIGDON R.H. Histopathology of animal reactions to pigment compounds-chickens Proc. Conf. Chem. Structure and Reactions of gossypol and non-gossypol

- pigments of cottonseed. In National cottonseed products Assoc. Memphis: Tennessee, 1959, 131–141.
- FERNANDEZ S.R., ZHANG Y, PARSON C.M. Effect of overheating on the nutritional quality of cottonseed meal. *Poult. Sci.*, 1994, **73**, 1563–1571.
- FERNANDEZ S.R., ZHANG Y, PARSON C.M. Dietary formulation with cottonseed meal on a total amino-acid versus a digestible amino acid basis. *Poult. Sci.*, 1995, **74**, 1168–1179.
- FLETCHER J.L., BARRENTINE B.F., DREESON L.J., HILL J.E., SHAWYER C.B. The use of ferrous sulphate to inactivate gossypol in the diets of laying hens. *Poult. Sci.*, 1953, **32**, 740–742.
- FORSTER L.A.JR, CALHOUN M.C. Nutrient values for cottonseed products deserve new look. *Feedstuffs*, 1995, 67 (44).
- FRANK A.W. Food uses of cottonseed protein. *Dev Food Proteins*, 1985, **5**, 31–80.
- GAMBOA D.A., CALHOUN M.C., KUHLMANN S.W., HAQ A.U., BAILEY C.A. Use of expander cottonseed meal in broiler diets formulated on a digestible Amino acid Basis. *Poult. Sci.*, 2001a, **80**, 789–794.
- GAMBOA D.A., CALHOUN M.C., KUHLMANN S.W., HAQ A.U., BAILEY C.A. Tissue distribution of gossypol Enantiomers in broilers fed various cottonseed meals. *Poult. Sci.*, 2001b, **80**, 920–925.
- GOETSCH A.L., OWENS F.N. The effects of commercial processing method of cottonseed meal on site and extent of digestion in cattle. *J. Anim. Sci.*, 1985, **60**, 803–813.
- HENRY M.H., PESTI G.M., BAKALLI R., LEE J., TOLEDO R.T., EITENMILLER R.R., PHILLIPS R.D. The performance of Broiler chicks fed diets containing extruded cottonseed meal with Lysine. *Poult. Sci.*, 2001, **80**, 762–768.
- HERMES I.H., ASHER N.R., SHULKAMY M.T., SHERSKL E. The effect of using different levels of decorticated cottonseed meal on the performance of chicks: Growth and feed efficiency of starting chicks. *Ann. Agric. Sci. Ain Shams Univ. (Egypt)*, 1983, **28**, 1415–1428.
- HEYWANG B.W., BIRD H.R. Relationship between the weight of chicks and levels of dietary free gossypol supplied by different cottonseed products. *Poult. Sci.*, 1955, **34**, 1239 – 1247.
- HEYWANG B.W., KEMMERER A.R., Effect of gossypol source and level on chicks growth. *Poult. Sci.*, 1966, **45**, 1429–1430.
- HILL C.W., MATRONE G. Studies on copper and iron deficiencies in growing chickens. *J. Nutr.* 1961, **73**, 425–431.
- HRON R.J., WAN P.J., KEEK M.S. Ethanol vapor deactivation of gossypol in cottonseed meal. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1994, **73**, 1337–1339.

- HSU J.T., SATTER L.D. Procedures for measuring the quality of heat-treated soybeans. *J. Dairy Sci.*, 1995, **78**, 1353-1361.
- HUANG L., ZHENG D.K., SI Y.K. Resolution of racemic gossypol. *J. Ethnopharmacol.*, 1987, **20**, 13–20.
- HUSBY F.M., KROENING G. H. Energy value of cottonseed meal for swine. *J. Anim. Sci.*, 1971, **33**, 592–603.
- JANERO D.R., BURGHARDT B. Protection of rat myocardial phospholipids against peroxidative injury through superoxide (Xantine oxidase) – dependent iron promoted fenton chemistry by the male contraceptive gossypol. *Biochem. and Pharmacol.*, 1988, **37**, 3335–3342.
- JONES L.A. Nutritional values for cottonseed meal. *Feedstuffs*, 1981, **53**, 19–21.
- JONES L.A. Gossypol chemistry and plant distribution. In: Jones L.A. (Ed.), *Male Fertility and its Regulation*. MTP Press Ltd: Lancaster, 1985, 93–110.
- JOSEPH A.E., MATLIN S.A., KNOX P. Cytotoxicity of enantiomers of gossypol. *Br. J. Cancer*, 1986, **54**, 511–513.
- KETEKOU A., Intérêt biologique de l'huile de graine de coton. In : Ketekou A. (Ed), *Le cotonnier sans gossypol, une nouvelle ressource alimentaire*. IDESSA : Abidjan, 1985, 58-62.
- KING T.J., DE SILVA L.B. Optically active gossypol from *Thespesia populnea*. *Tetrahedron Lett.*, 1968, **3**, 261-263.
- LANE A.G., STUART R.I. Gossypol intake may affect vitamin status of dairy cattle. *Feedstuffs*, 1990, **62**, 13.
- LECLERCQ B., ESCARTIN R. Further investigations on the effects of metabolisable energy content of diet on broiler performances. *Arch. Geflugelk.*, 1987, **51**, 93–96.
- LEMME A., RAVINDRAN V., BRYDEN W.L. Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. *World Poult. Sc. J.*, 2004, **60**, 423–438.
- LIPSTEIN B., BORNSTEIN S. Studies with acidulated cottonseed oil soapstock. 2. Attempts to reduce its gossypol content. *Poult. Sci.*, 1964, **43**, 694–701.
- LENNERTS L. Oil cakes and oil seeds as raw material for the production of feed mixtures. Seven feedstuffs made from cottonseed. *Olk. Ols Roh. Misch. Prod.*, 1988, **129**, 504–505.
- LIU F.K., JOU S.Y., JUNG L.Y. A new method of detoxification of cottonseed by means of mixed solvent extraction. *J. of Am. Oil Chem. Soc.*, 1981, **58**, 93–96.
- LODHI G.N., MALIK N.S., ICHHPONANI J.S. Metabolizable energy, nitrogen absorbability and feeding value of expeller processed mustard cake for chicks. *Br. Poult. Sci.*, 1974, **15**, 459–465.

- LYMAN C.M., BALIGA B.P., SLAY M.W. Reactions of proteins with gossypol. *Arch. Biochem. Biophys.*, 1959, **84**, 486–497.
- MARCHLEWSKI L., *J. Prakt. Chem.*, 1899, **60**, 84.
- MARQUIE C., ERIC H. Le coton glandless : une sécurité alimentaire en période de soudure. Bulletin du réseau TPA 11 CIRAD-CA, 1995, [en ligne] (04/1995) Adresse URL <http://www.gret.org/tpa/bulletins/bulletin11/b11p20a21.htm> Consulté le 23/03/07.
- MARTIN S.D. Gossypol effects in animal feeding can be controlled. *Feedstuffs*, 1990, **62**, 14–17.
- MATHUR C.R., AHMED M.T. The feeding value of cottonseed meal screenings in chicks rations. *Indian Vet. J.*, 1969, **46**, 804–806.
- MATRONE G., HARUMAN R.H., CLAWSON A.J. Studies of a manganese-iron antagonism in the nutrition of rabbits and baby pigs. *J. Nutr.*, 1959, **67**, 309–317.
- MAYORGA H., GONZALEZ J., MENCHU J.F., ROLZ C. Preparation of a low free gossypol cottonseed flour by dry and continuous processing. *J. Food Sci.*, 1975, **40**, 1270–1274.
- MCKINNON J.J., OLUBOBOKUN J.A., MUSTAFA A., COHEN R.D.H. Influence of dry heat treatment of canola meal on site and extent of nutrient disappearance in ruminants. *Anim. Feed Sci Technol.*, 1995, **56**, 243–252.
- MCNAUGHTON J.L., REECE F.N. Factors affecting pelleting response : Influence of dietary energy in broiler starter diets. *Poult. Sci.*, 1984, **63**, 682–685.
- MC DONALD P., EDWARDS R.A., GREENHALGH J.F.D. Nutrient requirements of laying hens. In: Feeding Standards for Reproduction and Lactation. Longman: London, 1981, 304p.
- MC GHEE F., CREGER C.R., COUCH J.R. Copper and iron toxicity. *Poult. Sci.*, 1965, **44**, 310–312.
- MERGEAI G. Forty years of Genetic improvement of cotton through interspecific hybridisation at Gembloux Agriculture University : Achievement and prospects. In: International Cotton Advisory Comity (Ed), World cotton Research Conference-3, Cape Town, 9 – 13 March 2003.
- MORGAN S.E., STAIR E.L., MARTIN T.M., EDWARDS W.C., MORGAN L. Clinical, clinicopathologic, pathologic, and alterations associated with gossypol toxicosis in feeder lambs. *Am. J. Vet. Res.*, 1988, **49**, 493–499.
- MOSS A., ALLISON R., STROUD A., COLLINS C. Evaluation of heat-treated lupins, beans, and rapeseed meal as protein sources for dairy cows. Home Grown Cereals Authority: Londres, 2000, 45p.
- NAGALAKSHMI D., SASTRY V.R.B., AGRAWAL D.K., KATIYAR R.C.H. Haematological and immunological response in lambs fed on raw and variously processed cottonseed meal. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 2001, **14**, 21–29.

- NAGALAKSHMI D., SASTRY V.R.B., AGRAWAL D.K. Detoxification of undecorticated cottonseed meal by various physical and chemical methods. *Anim. Nutr. Feed Technol.*, 2002, **2**, 117–126.
- NAGALAKSHMI D., SAVARAN V., RAMA R., ARUN K. P., VADALI R. B. S. Cottonseed meal in poultry diets: A review. *Int. J. Poult Sci.*, 2007, **44**, 119–134.
- NARAIN R., LYMAN C.M., DEYOE C.W., COUCH J.R. Effect of protein level of the diet on free gossypol tolerance in chicks. *Poult. Sci.*, 1960, **39**, 1556–1559.
- NARAIN R., LYMAN C.M., DEYOE C.W., COUCH J.R. Paper electrophoresis and albumin/globulin ratio of the serum of normal chicks and chickens fed free gossypol in diet. *Poult. Sci.*, 1961, **40**, 21–25.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1994. nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press Washnigton, DC.
- NJIKE M.C. Cottonseed meal as substitute for GNC in the diet of baby chicks. In: Njike M. C. (Ed.), Breeds and Nutrition of poultry in Nigeria. Nigerian Branch of World Poultry Science Association (Ed). Nigeria: 1975, 59–69.
- NZEKWE N.M., OLOMU J.M. The evaluation of cottonseed as a replacement for groundnut meal in broiler rations. *J. Anim. Prod. Res.*, 1982, **2**, 123–138.
- OBIOHA F.C., A guide to Poultry Production in the Tropics. *Acena Publishers Enugu*, 1992, 3–7.
- OJEWOLA G.S., EWA U.E. Response of growing broiler to varying dietary plant protein. *Int. J. Poult. Sci.*, 2005, **4**, 765 – 771.
- OJEWOLA G.S., UKACHUCKWU S.N., OKULONYE E.I. Cottonseed meal as substitute for soybean meal in broiler ration. *Int. J. Poult. Sci.*, 2006, **5**, 360–364.
- PANIGRAHI S., PLUMB V.E., MACHIA D.H. Effects of dietary cottonseed meal with and without iron treatment on laying hens. *Br. Poult. Sci.*, 1989, **30**, 641–651.
- PANIGRAHI S., MORRIS T.R. Effects of dietary cottonseed meal and iron-treated cottonseed meal on different laying hen genotypes. *Br. Poult. Sci.*, 1991, **32**, 21–24.
- PANIGRAHI S. Effects of treating cottonseed meal with a solution of ferrous sulphate on laying hen performance and discolourations in eggs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1992, **38**, 89–103.
- PANIGRAHI S., PLUMB V.E. Effects of dietary phosphorus of treating cottonseed meal with crystalline ferrous sulphate for the prevention of brown yolk discolouration. *Poult. Sci.*, 1996, **37**, 403–411.
- PARRY G. Le cotonnier et ses produits : Techniques Agricoles et Productions Tropicales. Maisonneuve et Larose : Paris, 1982, 502p.

- PASCAL G. Les apports quotidiens recommandés en lipides et en acides gras. NCPA, Memphis, Tennessee, USA [en ligne] (01/1996) Adresse URL <http://www.nioto-togo.com/spip.php?article25> Consulté le 09/11/2009.
- PERCY R.G., CALHOUN M.C., KIM H.L. Seed gossypol variation within gossypium barbadense. *L. Cotton Crop. Sci.*, 1996, **36**, 193–197.
- PESTI G.M., WHITING T.S., JENSEN L.S. The effect of Crumbling on the relationship between dietary and chick growth, feed efficiency, and abdominal fat pad weights. *Poult. Sci.*, 1983, **62**, 490–494.
- PETIT H.V., RIOUX R., OUELLET D.R. Milk production and intake of lactating cows fed raw or extruded peas. *J. Dairy Sci.*, 1997, **80**, 3377-3385.
- PETIT H.V., TREMBLAY G.F., TREMBLAY E., NADEAU P. Ruminant biohydrogenation of fatty acids, protein degradability, and dry matter digestibility of flaxseed treated with different sugar and heat combinations. *Can. J. Anim. Sci.*, 2002, **82**, 241-250.
- PHLEPS R.A. Cottonseed meal for poultry : From research to practical application. *Poult. Sci.*, 1966, **22**, 86–112.
- PONCET C., REMOND D., LEPAGE E., MICHALET-DOREAU B. Comment mieux valoriser les protéagineux et oléagineux en alimentation des ruminants. *Fourrages*, 2003, **174**, 205–229.
- PONS W.A.JR, GUTHRIE J.D. Determination of free gossypol in cottonseed materials. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1949, **26**, 671–676.
- PONS W.A.JR, HOFFPAUIR C.L., HPPER T.H. Gossypol in cottonseed : Influence of variety of cottonseed and environment. *J. Agric. Food Chem.*, 1953, **1**, 1115–1118.
- PONS W.A.JR, THURBER F.H., HOFFPAUIR C.L. Prepress-solvent extraction of cottonseed, processing conditions and characteristics of products. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1955, **32**, 98–103.
- PONS W.A., EAVES P.H. Aqueous acetone extraction of cottonseed. *U.S. Patent*, 1971, 3, 557.168.
- PROCTOR J., O'NEILL H.J., RELICH H.G., LEVI R.S., PONS W.A. Physiological evaluation of solvent-treated cottonseed meals in rations for laying hens. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1968, **45**, 393–396.
- PROUDFOOT F.G., HULAN H.W. Feed texture effects on the performance of turkey broilers. *Poult. Sci.*, 1982, **61**, 327–330.
- RAHMA E.H., NARASINGO RAO M.S. Gossypol removal and functional properties of protein produced by extraction of glanded cottonseed with different solvents. *J. Food Sci.*, 1984, **49**, 1057–1060.
- RATHORE K. Safe seed: Food cotton genetically modified to not have toxic gossypol. [en ligne] (04/09/2009) Adresse URL



- [http://www.sciencecodex.com/safe\\_seed\\_food\\_cotton\\_genetically\\_modified\\_to\\_not\\_have\\_toxic\\_gossypol](http://www.sciencecodex.com/safe_seed_food_cotton_genetically_modified_to_not_have_toxic_gossypol) Consulté le 28/12/2009.
- REDDY R., ESHWARAIAH V. Studies on the utilization of decorticated deoiled, double toasted cottonseed extraction broiler starters. *Indian J. Poult. Sci.*, 1987, **22**, 194–196.
- REID B.L., GALAVIZ-MORENO S., MAIORINO P.M. Comparison of glandless and regular cottonseed meals for laying hens. *Poult. Sci.*, 1984, **63**, 1803–1809.
- REID B.L., GALAVIZ-MORENON S., MAIORINO P.M. Evaluation of Isopropanol-extracted cottonseed meal for laying hens. *Poult. Sci.*, 1987, **66**, 82–89.
- REYNOLDS J.M., TONE J.N. Subchronic oral administration of gossypol-acetic acid (GAA) alters the distribution and utilization of radioiron in male rats. *Drug Chem. Toxicol.*, 1988, **11**, 135–150.
- RYAN J.R., KRATZER F.H., GRACE C.R., VOHRA P. glandless cottonseed meal for laying and breeding hens and broiler chicks. *Poult. Sci.*, 1986, **65**, 945–955.
- SANDAL D.S. Rapid method for evaluating metabolizable energy of poultry feeds (PhD These). Punjab Agricultural University: Ludhiana, 1974.
- SAUVANT D., LOSSOUARN J., VERRIER E. Le coton et ses co-produits en alimentation animale. *Rev. Alim. Anim.*, 1994, 482, <http://www.inapg.inra.fr/dsa/iobdaa/tcoton.htm>, Consulté le 14 Mars 2007.
- SCHMIDELY P., SAUVANT D. Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : Effets de l'apport de matière grasse ou d'aliment concentré. *INRA Prod. Anim.*, 2001, **14**, 337–354.
- SEKHAR-REDDY P., SUDHAKAR REDDY P., SATYANARAYANA REDDY P.V.V., SRINIVASA RAO D. Influence of cottonseed cake on the performance of broilers. *Indian J. Anim. Nutr.*, 1998, **15**, 188–193.
- SHAH F.H., SHAH W.H., YASIN M., ABDULLAH N. Detoxification of commercially produced cottonseed meal. *Pakistan J. Sci. Industr. Res.*, 1986, **29**, 380–382.
- SHARMA N.K., LODHI G.N., ICHHPONANI J.S. Cottonseed cake a potential source of vegetable protein for poultry: A review. *Indian J. Anim. Sci.*, 1978a, **48**, 132–140.
- SHARMA N.K., LODHI G.N., ICHHPONANI J.S. Comparative feeding value of expeller processed undecorticated and decorticated cottonseed cakes for growing chicks. *J. Agric. Sci.*, 1978b, **91**, 531–541.
- SHI A.H., ZHANG Y., QU P., YAN J.G., XIAO H.J. Screening and breeding of highly-effected degrading cotton-phenol strains and study on detoxification technology and conditions. *Acta Microbiol. Sinica*, 1998, **38**, 318–320.

- SKINNER, JAMES T., AMY L.W., PARK W.W. Effects of dietary nutrient density on performance and carcass quality of broilers 42 to 49 days of age. *J. Appl. Poult. Res.*, 1992, **1**, 367–372.
- SKUTCHES C.L., HERMAN D.L., SMITH F.H. Effect of I/V gossypol injection on iron utilization in swine. *J. Nutr.*, 1973, **103**, 851–855.
- SKUTCHES C.L., HERMAN D.L., SMITH F.H. Effect of dietary free gossypol on blood components and tissues iron in swine and rats. *J. Nutr.*, 1974, **104**, 415–422.
- SMITH K.J. Practical significance of gossypol in feed formulation. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1970, **47**, 448–450.
- SMITH F.H. Effect of gossypol bound to cottonseed protein on growth on weanling rats. *J. of Agric. Food Chem.*, 1972, **20**, 803–804.
- SONTAG N.O.V. Composition and Characteristics of Industrial fats and oils. In Formo M.W., Jungermann E., Norris F.A., Sontag N.O.V., Bailey's Industrial Oil and Fat Products. *Daniel Swern (Ed.): USA*, 1979, 289–477.
- STANSBURY M.F., PONS W.A.JR, DENHARTONG G.T. Relations between oil, nitrogen, and gossypol in cottonseed kernels. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1956, **33**, 282–286.
- SUNILKUMAR G., CAMPBELL L.M., PUCKHABER L., STIPANOVIC R.D., RATHORE K.S. Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol. *Appl. Biol. Sci.*, 2006, **103**, 18054–18059.
- TACHER G., RIVIERE R., LANDRY C. Valeur alimentaire pour les poussins et les poulets de chair du tourteau de coton sans gossypol. IEMVT Maisons Alfort Laboratoire de Farcha: Tchad, 1971.
- TANKSLEY T.D., KNABE D.A. Use of cottonseed meal in swine rations. *Feedstuff*, 1981, **52**, 24–27.
- TOWNSEND T. Situation et perspectives du coton. Groupe des produits tropicaux, 2008, pp 5. <http://www.ifap.org/fr/about/documents/CongresMondialAgriculteurs/SituationPerspectivesCoton.pdf>, Consulté le 09/11/2009.
- VIX H. L.E., EAVES P.H., GARDNER H.K.JR, LAMBOU M.G. Degossypolized cottonseed flour the liquid cyclone process. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1971, **48**, 611 – 615.
- VROH BI I., MAQUET A., BAUDOIN J.P., DU JARDIN P., JACQUEMIN J.M., MERGEAI G. Breeding for « low-gossypol seed and high-gossypol plants » in uplands cotton. Analysis of tri-species hybrids and back-cross progenies using AFLP and mapped RFLPs. *Theor. Appl. Genet.*, 1999, **99**, 1233–1244.
- WAL J.M. L'utilisation des sous-produits industriels en alimentation animale à Madagascar. IEMVT, Madagascar ; 1970.

- WALLACE J.R., FALCONER M.L. In vitro studies of conditions required to protect protein from ruminal degradation by heating in the presence of sugars. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1992, **37**, 129-141.
- WALDROUP P.W., GOODNER T.O. Tolerance levels of free gossypol in layer diets as influenced by iron: gossypol ratios. *Poult. Sci.*, 1973, **52**, 20–28.
- WALDROUP P.W. Cottonseed meal in poultry diets. *Feedstuffs*, 1981, **53**, 21–24.
- WANG N.G., ZHOU L.F. GUAN M.H., LEI H.P. Effects of (-) and (+) – gossypol on fertility in male rats. *J. Ethnopharmacol.*, 1987, **20**, 21–24.
- WATKINS S.E., SKINNER J.T., ADAMS M.H., WALDROUP P.W. An evaluation of low-gossypol cottonseed meal in diets for broilers chickens: Effect of cottonseed meal level and lysine supplementation. *J. Appl. Poult. Res.*, 1993, **2**, 221–226.
- WATKINS S.E., SALEH E.A., WALDROUP P.W. Reduction in dietary nutrient density aids in utilization of high protein cottonseed meal in broiler. *J. Poult. Res.*, 2002, **1**, 53–58.
- WEN-JU Z., ZI-RONG X., JIAN-YI S., XIA Y. Effect of selected fungi on the reduction of gossypol levels and nutritional value during solid substrate fermentation of cottonseed meal. *J. Zhejiang Univ Sci*, 2006, **7**, 690–695.
- WILLARD S.T., NEUENDORF D.A., LEWIS A.W., RANDEL R.D. Effect of free gossypol in the diet of pregnant and postpartum brahman cows on calf development and cow performance. *J. Anim. Sci.*, 1995, **73**, 496–507.
- WU X.Y., CHEN J.X. The utilization of microbes to break down free gossypol in cottonseed meal. *Scientia Agricultura Sinica*, 1989, **22**, 82–86.
- YU F., BARRY T.N., MOUGHAN P.J., WILSON G.F. Condensed tannin and gossypol concentrations in cottonseed and in processed cottonseed meal. *J. Sci. Food Agric.*, 1993, **63**, 7–15.
- YO T. Utilisation directe des graines de coton décortiquées de variétés sans gossypol dans l'alimentation des poulets de chair en Côte-d'Ivoire, *Rev. Elev. Méd. Vet. Pays Trop.*, **44**, 355–360.
- YU F., MCNABB W.C., BARRY T.N., MOUGHAN P.J. Effect of heat treatment upon the chemical composition of cottonseed meal and upon the reactivity of cottonseed tanins. *J. Sci. Food Agric.*, 1996, **72**, 263–272.
- YU P., GOELEMA J.O., TAMMINGA S. Determination of optimal conditions of pressure toasting on legume seeds for dairy industry. I. Effects of pressure toasting on nutritive values of *Lupinus albus* in lactating dairy cows. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 1999, **12**, 1205-1214.
- ZHANG J.Z., SUN Y.H., NIU Z.X., ZHANG W.D., XUE L.H. Studies on the screening of microorganisms for detoxification of gossypol and the effect of detoxification. *J. Shandong Agr. University*, 1990, **30**, 27–30.

**Tableau I:** Composition chimique de différents tourteaux (en % de la matière sèche - MS)

NUTRIMENTS	DÉCORTIQUÉ													NON DÉCORTIQUÉ				EXPELLER			GLANDLESS DÉSHUILÉ AU SOLVANT		
	EXPELLER								DÉSHUILÉ AU SOLVANT														
	1	2	3	4	5	6	7	8	$\bar{X} \pm \sigma$	3	6	9	$\bar{X} \pm \sigma$	3	10	11	$\bar{X} \pm \sigma$	4	5	$\bar{X} \pm \sigma$			
Protéine brute	34,2	43,7	37,9	56,0	49,3	44,0	29,7	45,0	<b>42,5 ± 8,3</b>	38,7	46,0	45,0	<b>43,1 ± 3,8</b>	22,0	28,7	30,3	<b>27,1 ± 4,3</b>	49,8	52,0	<b>50,9 ± 1,6</b>			
Extrait étheré	7,3	7,4	7,0	2,6	1,9	4,2	4,9	1,5	<b>4,6 ± 2,4</b>	0,3	0,5	7,2	<b>2,7 ± 3,9</b>	7,5	2,0	4,2	<b>4,6 ± 2,7</b>	1,0	1,0	<b>1,0</b>			
Fibre brute	18,0	17,6	12,5	15,9	-	12,9	15,7	10,0	<b>14,6 ± 2,9</b>	12,7	15,1	11,0	<b>12,9 ± 2,1</b>	29,0	26,9	26,9	<b>27,4 ± 0,9</b>	14,9	-	<b>14,9</b>			
Cendre	5,3	6,1	6,5	8,9	-	-	7,0	6,5	<b>6,7 ± 1,2</b>	6,4	-	9,0	<b>7,7 ± 1,8</b>	5,0	5,3	4,7	<b>5,0 ± 0,2</b>	6,9	-	<b>6,9</b>			
EM MJ.kg <sup>-1</sup> *	8,0	9,4	11,8	-	9,3	10,4	10,4	-	<b>9,9 ± 1,3</b>	9,4	11,2	-	<b>10,3 ± 1,2</b>	7,9	-	9,1	<b>8,5 ± 0,8</b>	-	9,1	<b>9,1</b>			
Calcium	0,2	0,3	-	-	-	0,2	0,1	0,2	<b>0,2 ± 0,1</b>	-	0,2	-	<b>0,2</b>	-	0,2	-	<b>0,2</b>	-	-	<b>-</b>			
Phosphore	0,8	0,9	-	-	-	1,1	0,7	1,2	<b>0,9 ± 0,2</b>	-	1,1	-	<b>1,1</b>	-	0,7	-	<b>0,7</b>	-	-	<b>-</b>			

\*: Energie métabolisable;

1: Panigrahi et collaborateurs (1989), 2: El-Boushy and Raternick (1989), 3: Sharma et collaborateurs (1978a), 4: Ryan et collaborateurs (1986), 5: Reid et collaborateurs (1984), 6: NRC (1994), 7: Shekar-Reddy et collaborateurs (1998), 8 : Watkins et collaborateurs (2002) ; 9 : Henry et collaborateurs (2001), 10: Nagalakshmi (1997), 11: Balogun et collaborateurs (1990)

**Tableau II:** Composition en acides aminés de différents tourteaux de coton (en % de la MS)

NUTRIMENTS	DÉCORTIQUÉ										NON DÉCORTIQUÉ EXPELLER	GLANDLESS DÉSHUILÉ AU SOLVANT			
	EXPELLER						$\bar{X} \pm \sigma$	DÉSHUILÉ AU SOLVANT				2	1	4	$\bar{X} \pm \sigma$
	1	2	3	4	5	6		5	7	$\bar{X} \pm \sigma$					
Arginine	5,9	3,4	4,5	5,9	4,8	5,0	<b>4,9 ± 0,9</b>	5,2	5,1	<b>5,1</b>	2,3	6,1	6,0	<b>6,0</b>	
Glycine/Serine	4,6	3,3	-	4,1	3,7	3,4	<b>3,8 ± 0,6</b>	3,8	3,6	<b>3,7 ± 0,2</b>	-	4,8	4,4	<b>4,6 ± 0,3</b>	
Histidine	-	1,0	-	0,9	1,2	1,2	<b>1,1 ± 0,2</b>	1,2	1,3	<b>1,2</b>	0,4	-	0,9	<b>0,9</b>	
Cystine	0,9	-	0,7	-	0,6	0,8	<b>0,8 ± 0,1</b>	0,7	0,8	<b>0,7 ± 0,1</b>	-	0,5	-	<b>0,5</b>	
Isoleucine	1,8	1,3	1,6	1,7	1,4	1,4	<b>1,5 ± 0,2</b>	1,5	1,5	<b>1,5</b>	0,9	1,3	1,9	<b>1,6 ± 0,4</b>	
Leucine	3,2	2,5	-	2,9	2,4	2,6	<b>2,7 ± 0,3</b>	2,7	2,8	<b>2,7 ± 0,1</b>	1,6	2,0	3,1	<b>2,6 ± 0,7</b>	
Lysine totale	2,3	1,5	1,7	1,9	1,7	2,0	<b>1,9 ± 0,3</b>	1,9	2,0	<b>1,9</b>	1,0	2,3	1,9	<b>2,1 ± 0,3</b>	
Lysine disponible	1,7	-	-	-	-	-	<b>1,7</b>	-	-	<b>-</b>	-	1,8	-	<b>1,8</b>	
Méthionine	0,8	0,4	0,7	0,8	0,6	0,7	<b>0,7 ± 0,2</b>	0,6	0,8	<b>0,7 ± 0,1</b>	0,2	0,7	0,9	<b>0,8 ± 0,1</b>	
Phénylalanine	3,0	2,0	-	2,8	2,4	2,3	<b>2,5 ± 0,4</b>	2,5	2,4	<b>2,4</b>	0,9	2,6	3,1	<b>2,8 ± 0,4</b>	
Thréonine	1,8	1,3	1,6	1,5	1,4	1,3	<b>1,5 ± 0,2</b>	1,5	1,5	<b>1,5</b>	0,9	1,9	1,6	<b>1,8 ± 0,2</b>	
Valine	2,4	2,0	-	2,2	2,0	1,9	<b>2,1 ± 0,2</b>	2,0	2,0	<b>2,0</b>	1,5	1,9	2,5	<b>2,2 ± 0,4</b>	
Tyrosine	1,5	-	-	1,2	1,2	1,3	<b>1,3 ± 0,2</b>	1,5	1,3	<b>1,4 ± 0,1</b>	-	0,7	1,3	<b>1,0 ± 0,4</b>	

1: Ryan et collaborateurs (1986), 2: Sharma et collaborateurs (1978a), 3: El-Boushy and Raterink (1989), 4: Reid et collaborateurs (1984), 5: NRC (1994), 6: Watkins et collaborateurs (2002), 7 : Henry et collaborateurs (2001)

**Tableau III:** Composition en acides gras des différentes huiles alimentaires habituellement utilisées

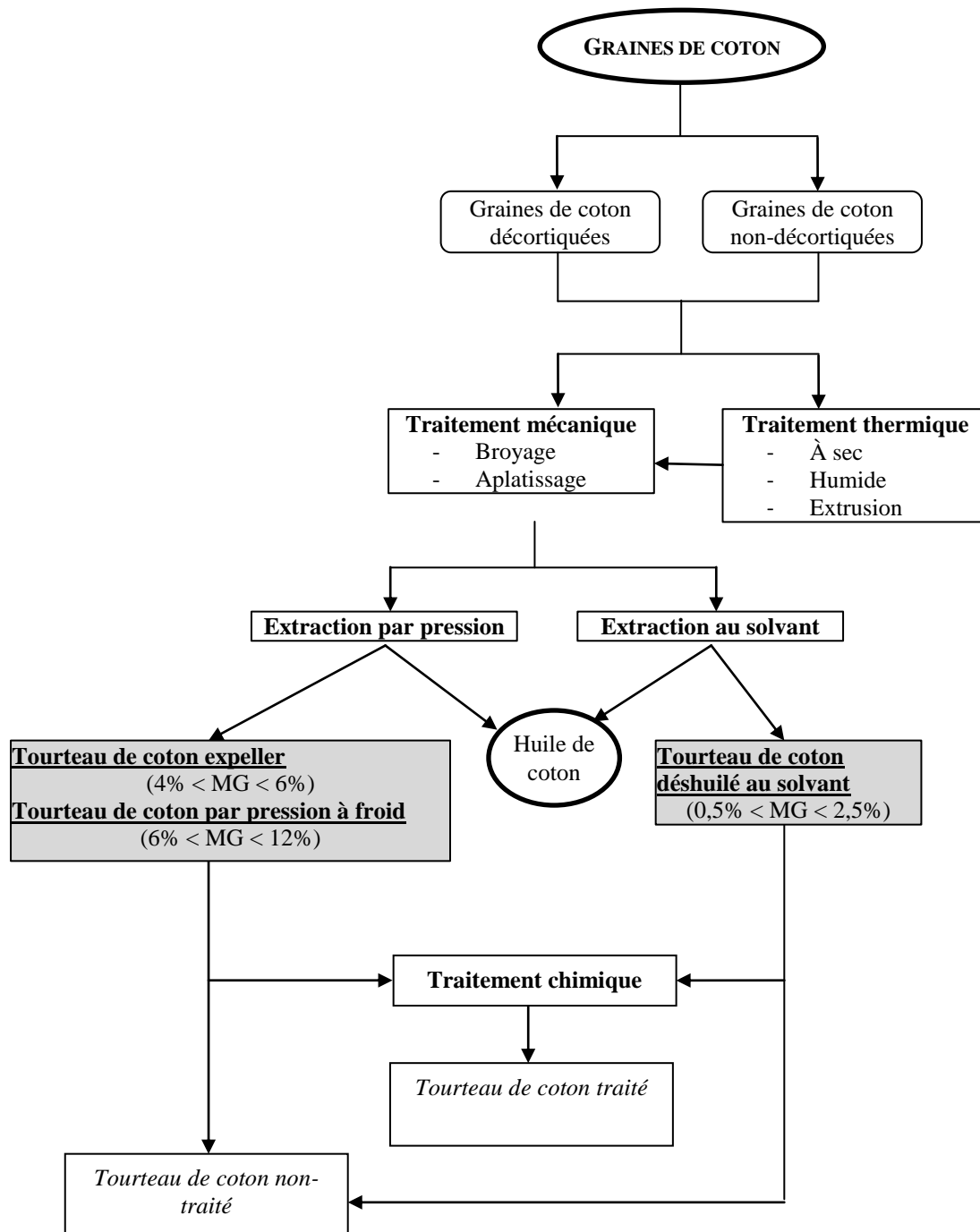
Huiles	Acides gras saturés	Acides gras mono insaturés	Acides gras polyinsaturés
Coton	22%	23%	55%
Palme	50%	40%	10%
Soja	15%	25%	60%
Colza	8%	62%	30%
Arachide	20%	59%	21%

Source: Pascal (1996)

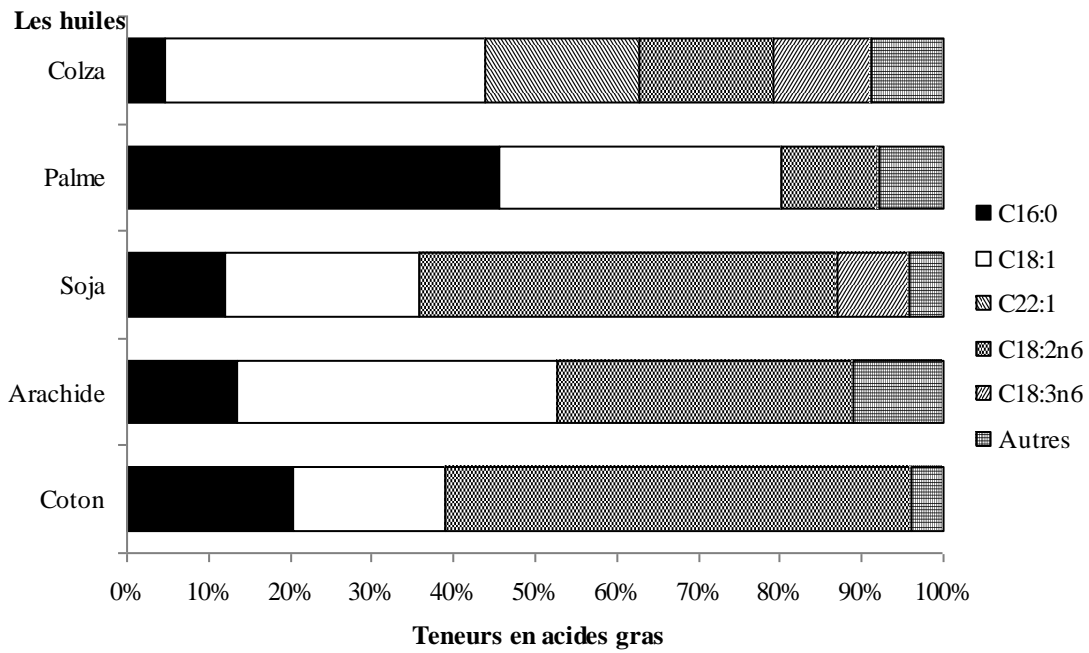
**Tableau IV:** Teneur en gossypol (total et libre) de différents tourteaux de coton (en mg.kg<sup>-1</sup>)

GOSSYPOL	DÉCORTIQUÉ							DÉSHUIÉ AU SOLVANT	NON DÉCORTIQUÉ EXPELLER			GLANDLESS DÉSHUIÉ AU SOLVANT				
	EXPELLER						$\bar{X} \pm \sigma$		4	$\bar{X}$	4	8	$\bar{X} \pm \sigma$	1	2	$\bar{X} \pm \sigma$
	1	2	3	4	6	7										
Total	14144		10000	6920		12300	<b>10841 ± 3115</b>	6333	<b>6333</b>	3900	5183	<b>4542 ± 907</b>	362	-	<b>362</b>	
Libre	519	426	1700	360	1300	1900	<b>915 ± 701</b>	467	<b>467</b>	600	2700	<b>1650 ± 1485</b>	106	130	<b>118 ± 16</b>	

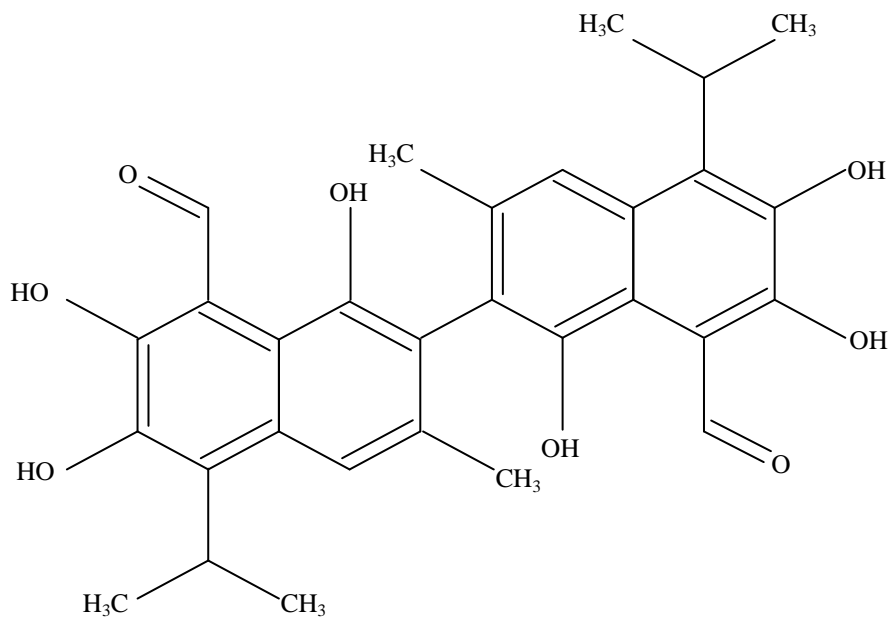
1 : Ryan et collaborateurs (1986), 2 : Reid et collaborateurs (1984), 3 : El-Boushy et Raterink (1989), 4 : Sharma et collaborateurs (1978), 8 : Nagalakshmi et collaborateurs (2001), 5: Waldroup et Goodner (1973), 6 : Watkins et collaborateurs (2002), 7 : Gamboa et collaborateurs (2001b).



**Figure 1** : Les divers traitements des graines de coton

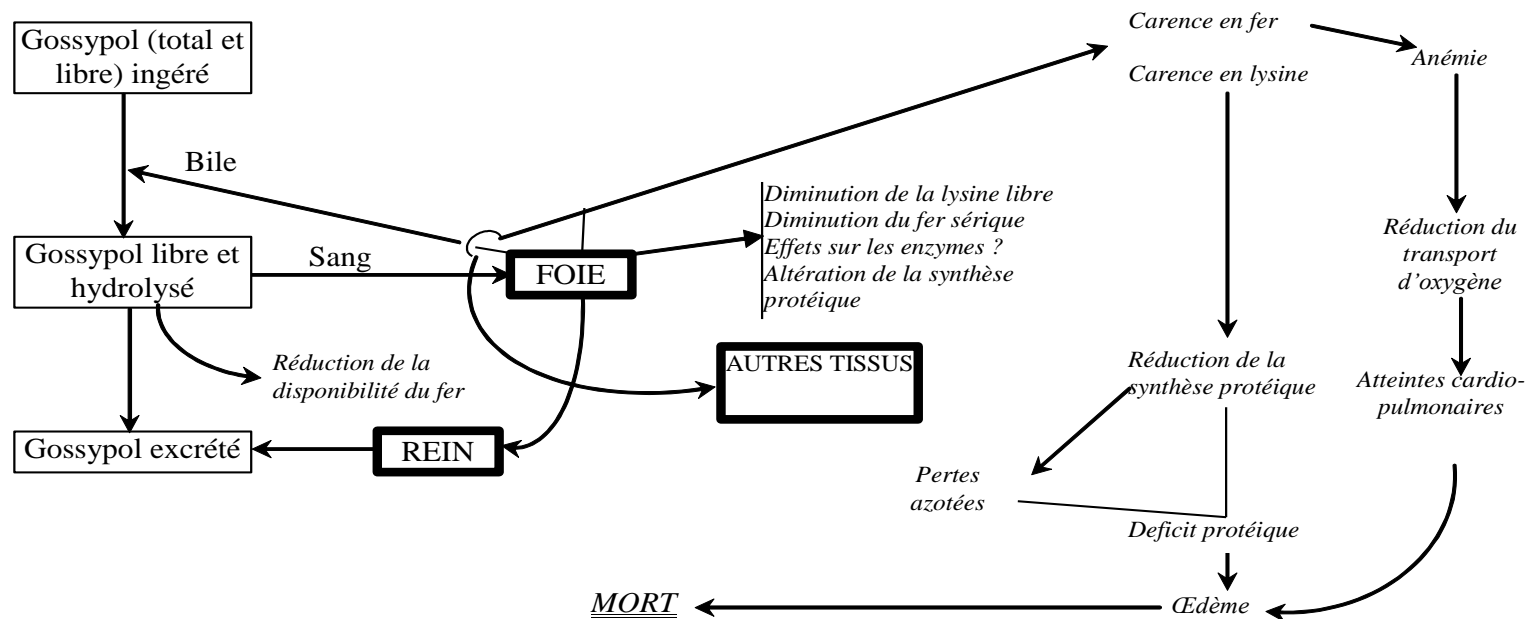


**Figure 2** : Composition en acides gras des principales huiles alimentaires (Sontag, 1979)

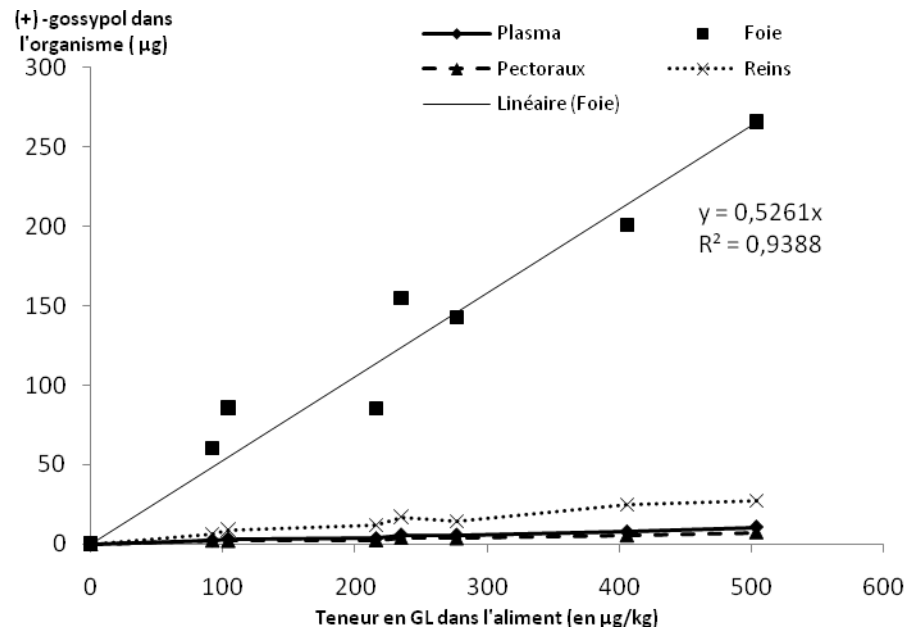


**Figure 3** : Structure plane de la molécule de gossypol (Dao *et al.*, 2000)

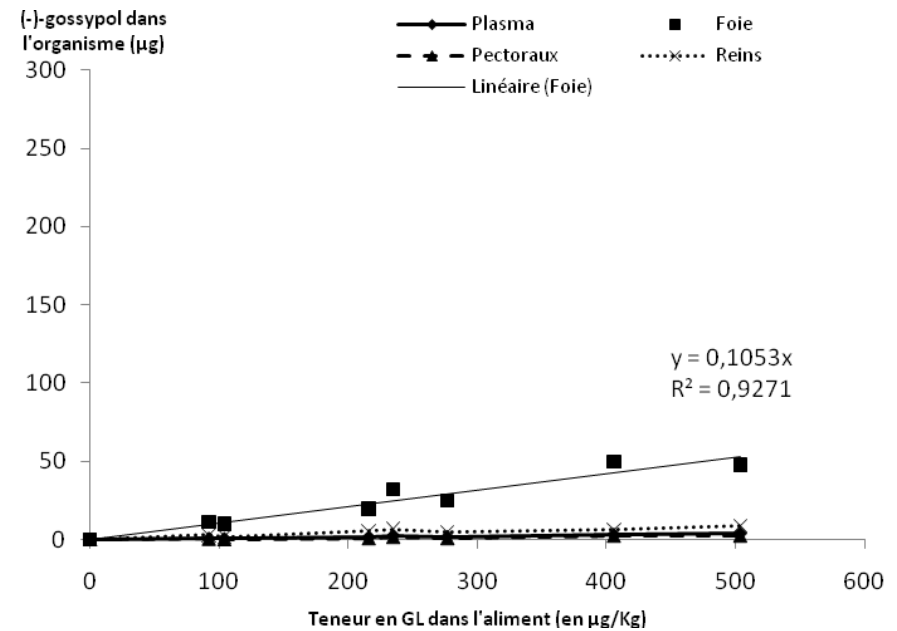




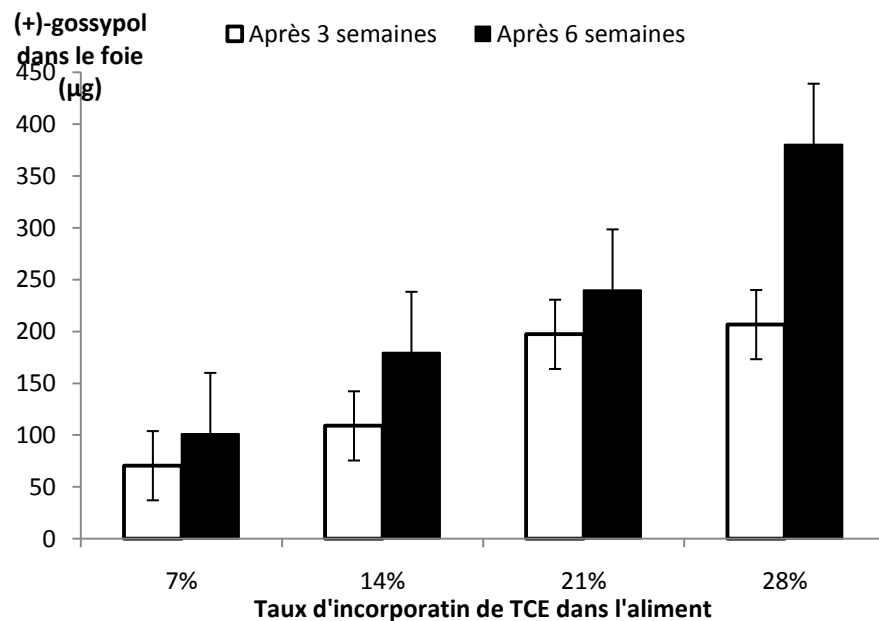
**Figure 4** : Les effets du gossypol dans l'organisme (source : <http://www.unu.edu/unupress/food/8F024e/8F024E11.gif>; 22/12/2009)



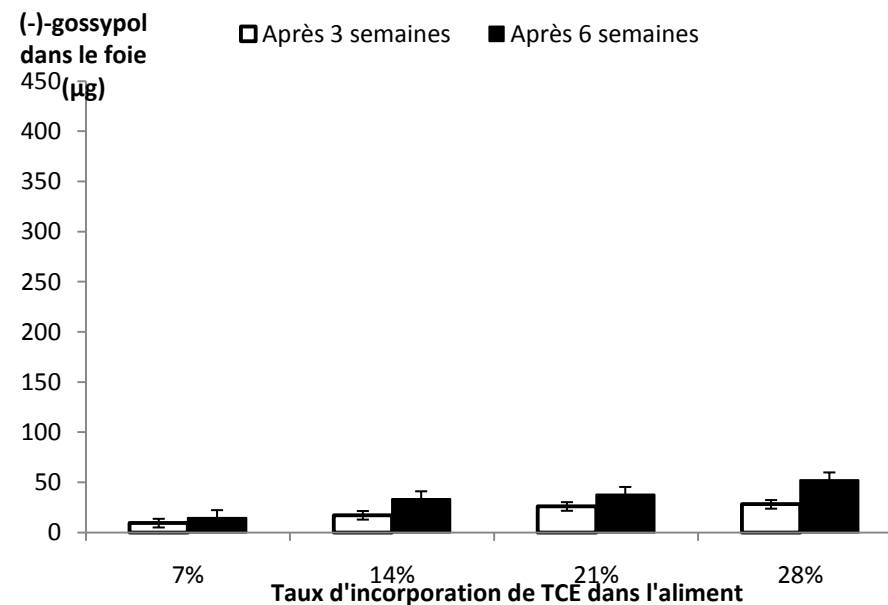
**Figure 5** : Niveaux de (+)-gossypol dans le plasma (—◆—), le foie (—■—), les muscles pectoraux (—▲—) et les reins (—×—) (Gamboa *et al.*, 2001a)



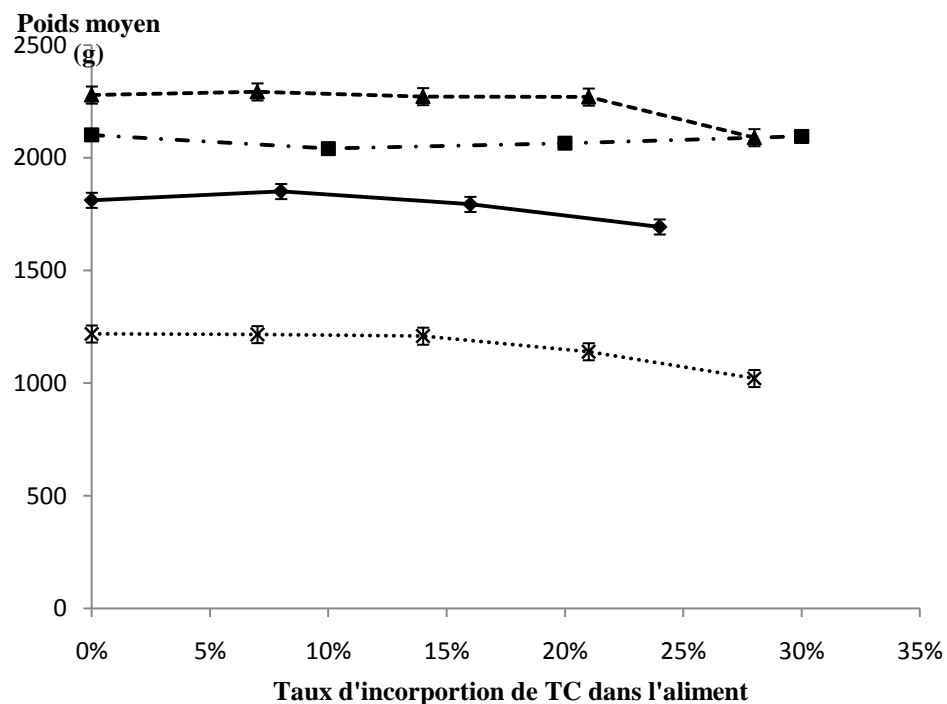
**Figure 6** : Niveaux de (-)-gossypol dans le plasma (—◆—), le foie (—■—), les muscles pectoraux (—▲—) et les reins (—×—) (Gamboa *et al.*, 2001a)



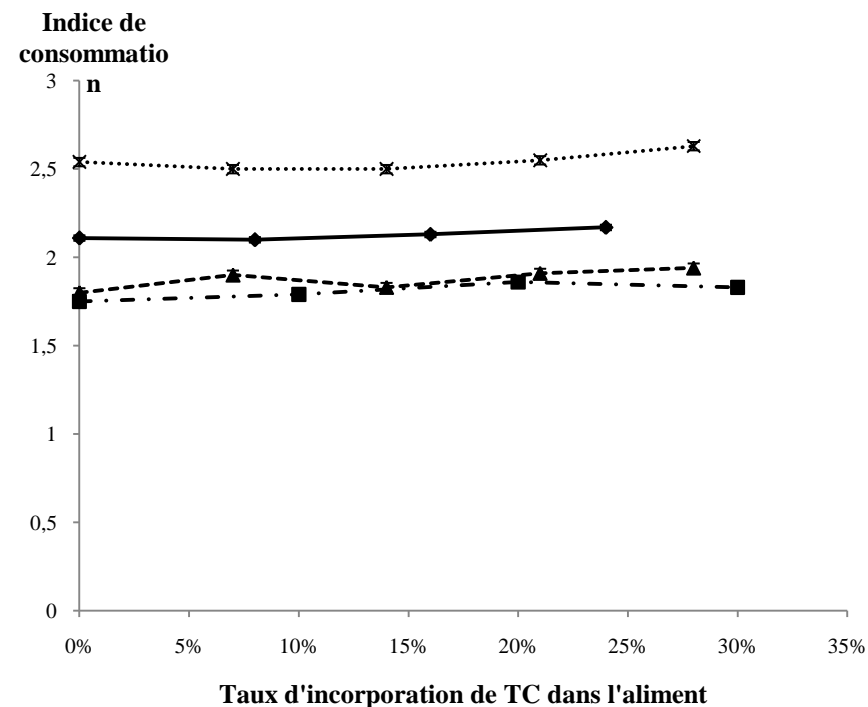
**Figure 7 :** Evolution du niveau de (+)-gossypol hépatique en fonction du niveau d'incorporation de tourteaux de coton expeller (TCE) dans la ration (Gamboa *et al.*, 2001b)



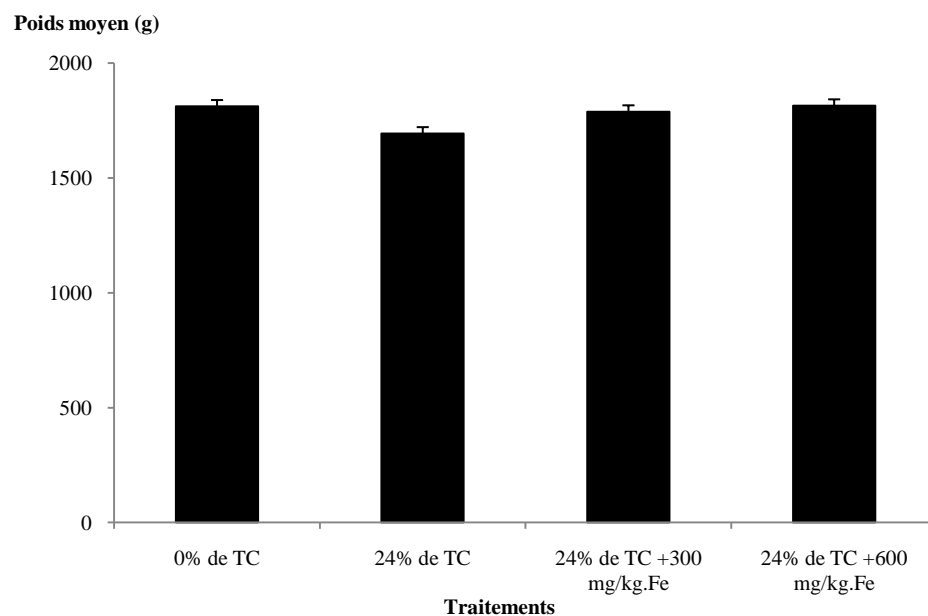
**Figure 8 :** Evolution du niveau de (-)-gossypol hépatique en fonction du niveau d'incorporation de tourteaux de coton expeller (TCE) dans la ration (Gamboa *et al.*, 2001b)



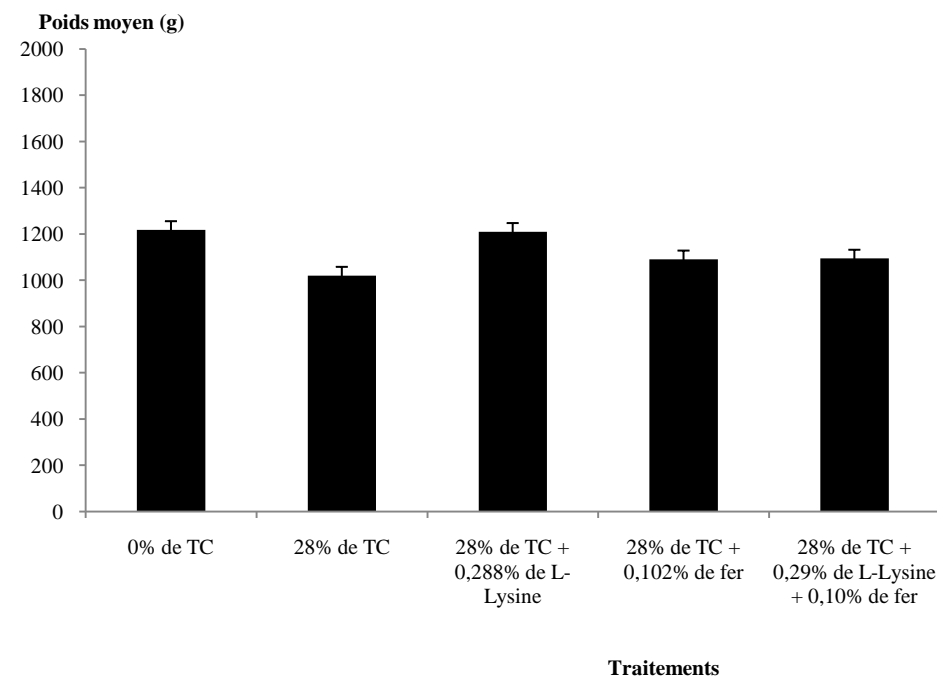
**Figure 9** : Evolution du poids vif de poulets après 6 semaines d'élevage en fonction du niveau d'incorporation de tourteaux de coton dans l'aliment selon El-Boushy et Raternick (1989) (—◆—), Watkins et collaborateurs (1993) (-■-), Gamboa et collaborateurs (2001b) (-▲-) et Sekhar Reddy et collaborateurs (1998) (....×....)



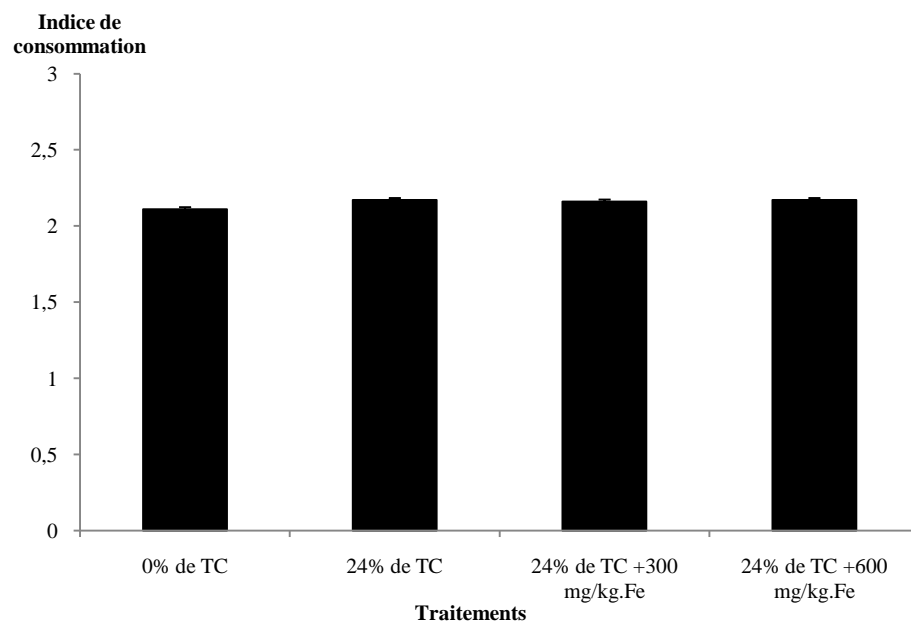
**Figure 10** : Evolution de l'indice de consommation de poulets après 6 semaines d'élevage en fonction du niveau d'incorporation de tourteaux de coton dans l'aliment selon El Boushy et Raternick (1989) (—◆—), Watkins et collaborateurs (1993) (-■-), Gamboa et collaborateurs (2001b) (-▲-) et Sekhar Reddy et collaborateurs (1998) (....×....)



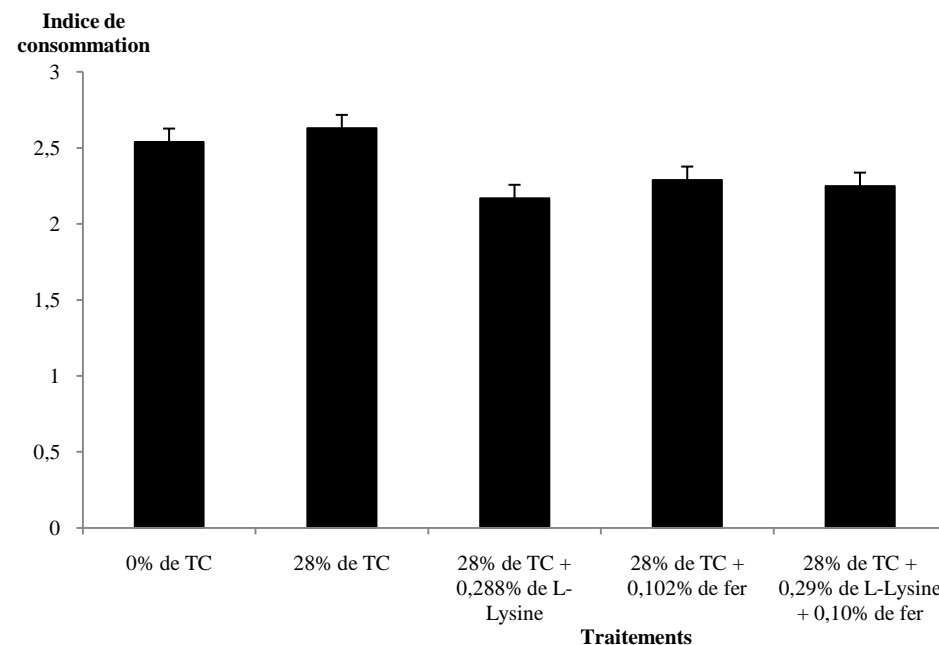
**Figure 11 :** Poids moyens de poulets après 6 semaines d'élevage selon divers traitements du tourteau de coton semi-décortiqué utilisant le fer (El-Boushi et Raternick, 1989)



**Figure 12 :** Poids moyens de poulets après 6 semaines d'élevage selon divers traitements du tourteau de coton décortiqué utilisant la lysine et/ou le fer (Sekhar\_Reddy *et al.*, 1998)



**Figure 13** : Indice de consommation de rations avec divers traitements du tourteau de coton semi-décortiqué utilisant le fer sur une période de 6 semaines d'élevage (El-Boushi et Raternick, 1989)



**Figure 14** : Indice de consommation de rations avec divers traitements du tourteau de coton décortiqué utilisant la lysine et/ou le fer sur une période de 6 semaines d'élevage (Sekhar Reddy *et al.*, 1998)

## **Chapitre II**

---

**L'emploi du coton conventionnel en production de poulets  
au Sénégal**

## **Effets de la substitution du tourteau d'arachide par la fève de coton conventionnel en production de poulet de chair au Sénégal**

Article 2 – Accepter pour publication par TROPICULTRAL

**Diaw Mamadou Tandiag, Dieng Abdoulaye, Mergeai Guy, Sy Moustapha, Hornick Jean-Luc**

### **Résumé:**

Une étude sur l'effet de la fève de coton conventionnel (glandé) en production de poulet de chair a été conduite sur 400 animaux. Le tourteau d'arachide a été substitué à raison de 0, 25, 50 et 75% par la fève de coton. L'incorporation de la fève de coton s'est traduite par une réduction significative ( $p < 0,001$ ) des paramètres de croissance, d'ingestion, d'efficacité alimentaire et de digestibilité des nutriments des aliments expérimentaux. Cette diminution s'est faite de manière proportionnelle au niveau de substitution. Cette étude suggère que seule la teneur en gossypol des fèves de coton constitue un facteur limitant pour leur incorporation dans les aliments des volailles et que cet aliment soit exclu des formulations en production de poulets ou que son niveau maximal d'incorporation soit limité à 10% lorsque le temps de production n'est pas une contrainte pour l'éleveur.

**Mots clés :** Tourteau d'arachide, Fève de coton, Gossypol, Poulet, Performances, Digestibilité

### **Summary:**

#### ***Effects of the substitution of groundnut cake by conventional cottonseed kernel on broilers production in Senegal***

A study has been conducted on 400 chicks to evaluate conventional cottonseed kernels on broilers production. Groundnut cake has been substituted by cottonseed kernels at 0, 25, 50 and 75% levels. Cottonseed kernel incorporation decreased significantly ( $p < 0.001$ ) the growing parameters, feed intake, feed efficiency and nutrients digestibility of the experimental diets. This reduction was proportional to the level of substitution. The study suggests that only the level of gossypol in cottonseed kernels limits their incorporation in broilers diets and that this by-product should be excluded from the formulation in broilers production or that its level of incorporation should be limited to a maximal level of 10% when production duration is not a constraint for breeders.

**Key words:** Groundnut cake, Cottonseed kernel, Gossypol, Broilers, Performances, Digestibility



## 1. Introduction

Le cotonnier, en particulier l'espèce *Gossypium hirsutum*, constitue l'une des plantes les plus cultivées (18) avec une production mondiale qui, actuellement, dépasse les 27 millions de tonnes. Elle est ainsi la première plante textile et également la deuxième ressource en protéines végétales après le soja et la cinquième plante oléagineuse devant l'arachide (28).

La filière cotonnière africaine contribue pour environ 12% au PIB, 40% aux recettes totales d'exportation, 70% aux recettes agricoles et emploie plus de 15 millions de personnes (1).

Au Sénégal, avec une production moyenne actuelle de plus de 50 000 tonnes de coton graines (5), la valorisation des graines qui représentent 60% de la production (25) pourrait potentiellement couvrir 15% de la demande en huiles comestibles et plus de 10% des besoins du pays en protéines (26).

Et pourtant la filière avicole sénégalaise qui est en perpétuel essor, surtout au niveau de sa composante moderne avec un chiffre d'affaire estimé à 68 milliards de francs CFA (8), rencontre d'énormes difficultés dans la fabrication de provende et l'approvisionnement en aliment protéique. La crise enregistrée au niveau de la filière arachidière et qui s'est aggravée en 2003, n'a pas épargné la plupart des industriels qui sont obligés d'importer des concentrés protéiques (3). Les surcoûts associés sont à la charge de l'aviculteur et du consommateur, avec une augmentation du prix de l'aliment.

L'utilisation de la graine de coton ou de ses co-produits dans les provendes pourrait permettre de réduire la demande en tourteaux et donc diminuer le coût de l'aliment volaille, procurant également une plus value au près des coton-culteurs.

Les effets dépressifs du tourteau de coton sur les animaux monogastriques sont attribués au gossypol (11, 19), aux teneurs élevées en fibre (10) et à la présence d'acides gras cyclopropénoïques (25). Les niveaux d'incorporation du tourteau en production de poulets, rapportés dans la littérature, varient fortement (9, 11, 27) selon les divers traitements appliqués lors de la trituration (20). Ces derniers ont une forte incidence sur les teneurs en nutriment - notamment la cellulose (16, 20) - des co-produits de la graine de coton.

Le broyage partiel des graines de coton pour leur décorticage donne, après tamisage, un produit dont les teneurs en nutriment sont proches de celles de l'amande de la graine de coton et sont également moins riches en constituant pariétaux que les tourteaux non décortiqués (20). Les effets d'un tel aliment chez la volaille n'ont jamais été étudiés. Sa possible incorporation pourrait permettre de combler une partie de la demande en tourteau d'arachide et en concentrés protéiques au Sénégal.

C'est dans cette optique qu'une étude a été effectuée pour évaluer les effets, sur les performances des poulets, de la substitution du tourteau d'arachide utilisé traditionnellement dans les provendes pour volaille au Sénégal, par la fève de coton.

## **2. Matériels et méthodes**

L'expérimentation s'est déroulée à l'ENSA de l'Université de Thiès (Sénégal). Elle a eu lieu à la fin de la saison des pluies caractérisée par de fortes températures (30,9 à 34,0°C) et une humidité relative élevée (48,0 à 71,5%).

### **2.1. Provenance des aliments**

Les graines de coton ont été acquises, après égrenage, auprès de la société SODEFITEX du Sénégal. Un moulin à mil muni d'un tamis de maille 0,7 cm a été utilisé pour libérer l'amande. Le tamisage du produit obtenu a permis de collecter une fraction contenant 94,4% de matière sèche (MS), 6,6% de cendres (Ce), 40,2% d'extrait éthéré (EE), 8,5% de cellulose brute (CB), 33,7% de protéine brute (PB) et 20,2 MJ d'Energie métabolisable (EM) par kg de MS. Les teneurs en Gossypol total et libre étaient respectivement de 16 812 et 9 493 mg/kg.

Le tourteau d'arachide et les céréales ont été acquis dans le commerce auprès de grossistes. La farine de poisson, d'origine industrielle, provenait d'AFRIC AZOTE et le CMV, la lysine et méthionine de synthèse ont été fournis par VETAGROPHARMA.

### **2.2. La conduite des animaux**

Quatre cents (400) poussins d'un jour non-sexés et de souche Cobb 500 ont été réceptionnés à partir du couvoir de Mbao (Sénégal) et répartis aléatoirement en 4 lots de 2 répétitions, chacune de 50 sujets. Ils ont été élevés en claustration au sol sur litière de copeaux de bois pendant 6 semaines pour des phases (démarrage et croissance) d'égale durée, chaque groupe recevant, pour chaque période d'élevage, un aliment spécifique.

Un groupe témoin (G0) a reçu une ration contenant 25% de tourteau d'arachide. Les animaux des groupes G25, G50 et G75 ont été nourris avec des aliments dont le tourteau d'arachide a été respectivement substitué par la fève de coton à raison de 25, 50 et 75% (Tableau 1). La ration témoin a été formulée conformément aux recommandations de la « National Research Council » (21) en minimisant le coût de l'aliment, mais aussi pour obtenir des teneurs iso-énergétique et iso-protéiques entre formules.

Durant l'essai, l'eau et l'aliment étaient disponibles à volonté et des pesées hebdomadaires ont été effectuées sur le poids vif. Des vaccinations ont été faites contre la maladie du Newcastle et la

bronchite infectieuse dès la réception des poussins (1<sup>er</sup> jour) et à 22 jours d'âge, et contre la maladie de Gumboro à 8 et 28 jours d'âge. Un anticoccidien a été administré dans l'eau de boisson à 2 et 23 jours d'âge pendant 5 jours consécutifs.

### 2.3. Digestibilité des nutriments

La digestibilité apparente des nutriments (DAN) a été évaluée sur des poulets de même souche avec un poids moyen de 1300 g. Cinq animaux ont été utilisés par aliment et placés dans des cages individuelles à métabolisme. Après la période d'adaptation (7 jours), les fèces et les refus ont été récoltés tout au long de l'essai qui a duré 7 jours.

La DAN a été calculée sur la base de :  $DAN (\%) = 100 \times (NI - NF) / NI$  ;

avec NI et NF qui désignent respectivement les teneurs en nutriment ingéré et fécal.

### 2.4. Analyses chimiques et calculs

Les analyses chimiques ont été faites conformément aux méthodes de l'AOAC (2) et l'EM a été évaluée à partir de EM vraie ( $Mj/kg.MS$ ) =  $(3951 + 54,4.EE - 88,7.CB - 40,8.Ce) \times 0,004184$  où EE (Extrait Ethéré), CB (Cellulose brute) et Ce (Cendre) sont exprimés en pourcentage (%) de la MS (15).

Les teneurs en aflatoxines (B1, B2, G1 et G2) ont été déterminées par chromatographie sur couche mince et le gossypol (total et libre) a été dosé par colorimétrie avec détermination de la densité optique à 440 nm après emplois de solution étalon.

Les retards de croissance (RC) des groupes G25, G50 et G75 par rapport au lot témoin (G0) ont été calculés à partir de la formule :  $RC (\text{en } \%) = ((P - P_0) / P_0) \times 100$  et où  $P_0$  désigne le poids des animaux du témoin et P celui du groupe G25, G50 et G75.

Les corrélations entre le niveau d'incorporation de coton et certains paramètres zootechniques (mortalité, poids vif et Ingestion) ont été réalisées à partir du logiciel Microsoft Excel.

### 2.5. Analyse des données

Les données non individualisables ont fait l'objet d'une simple statistique descriptive. Les autres données ont été analysées à l'aide d'un modèle généralisé linéaire (Proc GLM) du SAS (24). Le modèle utilisé a été le suivant :  $Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$

Où

	$\mu$ : moyenne général
	$\alpha_i$ : effet de la substitution du tourteau d'arachide par la fève de coton i

$\beta_j$ : effet de la répétition j

$\alpha\beta_{ij}$ : effet de l'interaction entre le niveau de substitution i et la répétition j

$\varepsilon_{ijk}$ : écart résiduel aléatoire

### 3. Résultats

#### 3.1. Performances pondérales

Les performances pondérales des animaux ont été significativement ( $p < 0,001$ ) affectées par le niveau de substitution (Tableau 2). La répétition par contre n'a eu aucun effet sur les poids durant les phases démarrage ( $p = 0,863$ ) et croissance ( $p = 0,994$ ).

Les poulets du groupe G0 ont réalisé les meilleures performances (353 et 991 g respectivement en fin de démarrage et de croissance). Avec l'incorporation de la fève de coton, une réduction significative des poids vifs a été observée et, déjà à 25% de substitution (G25), une diminution de plus que la moitié des performances des poulets a été notée, conduisant à la fin de l'essai à un poids moyen de 466 g (Figure 1). L'impact négatif des fèves de coton a été proportionnel au niveau d'incorporation et, tout niveau supérieur a réduit d'environ 50% le poids final des animaux par rapport au groupe de niveau inférieur donnant ainsi chez les volailles des groupes G50 et G75 des poids vifs moyens finaux respectifs de 266 et 192 g.

Par rapport aux volatiles du groupe G0, les poulets des lots G25, G50 et G75 ont connu des retards de croissances qui, dès le 15<sup>ème</sup> jour, ont atteint respectivement - 40%, - 72% et - 82% (Figure 2). Ces écarts se sont stabilisés, durant la phase croissance, autour de - 64%, - 80% et - 87% respectivement.

Les gains quotidiens moyens (GQM) ont été plus importants chez les volailles du groupe G0 (14,8 et 30,4 g respectivement en démarrage et croissance) et les retards de croissance dans les autres groupes se sont traduits par des réductions similaires avec le niveau de substitution, pour des croûts de moins de 4 g/jour avec le groupe G75.

La consommation alimentaire cumulée a connu une influence liée aux traitements similaire, à savoir une diminution progressive de l'ingestion avec le niveau de substitution du tourteau d'arachide. Chez les poulets du groupe G0, l'ingestion moyenne a été de 627 g et 1734 g par sujet durant respectivement les phases démarrage et croissance. Au niveau des groupes G25, G50 et G75, cette ingestion a diminué de respectivement - 47,7%, - 67,3% et - 78,1%, correspondant dans ce dernier cas à une ingestion d'environ 10 g/jour.

L'indice de consommation (IC) de la ration du groupe G0 a été la plus faible (1,59 et 2,72 avec respectivement les aliments démarrage et croissance). L'IC des rations a augmenté, bien qu'assez modérément, avec le niveau de substitution du tourteau d'arachide.

Une forte mortalité a été enregistrée au démarrage de l'essai avec plus de 15% chez les poulets du groupe G0. Durant la phase croissance, les mortalités ont été plus marquées au niveau du groupe G75 où elles ont dépassé plus de 50% (Figure 3).

### ***3.2. Digestibilité des nutriments***

La digestibilité des divers nutriments a été fortement influencée ( $p < 0,001$ ) par les niveaux de substitution (Tableau 2). Elle a été maximale pour les aliments du groupe G0 (plus de 71% pour la MO) et a diminué avec le niveau d'incorporation de la fève pour atteindre moins de 50 et 58%, respectivement pour les rations démarrage et croissance du groupe G75. La digestibilité de la MO a été la plus élevée (plus de 71%) dans le groupe G0, celles des EE et de la MS étant presque similaires.

### ***3.3. Evaluation économique***

L'augmentation du taux de fève de coton dans la ration en substitution du tourteau d'arachide a entraîné une diminution relativement modeste du prix de l'aliment (Tableau 1). L'utilisation d'aliment contenant la fève de coton a permis de réduire le coût alimentaire et la charge de production (Tableau 2) ; la diminution du poids final des animaux et, pour les groupes G50 et G75, du nombre d'animaux commercialisés, a réduit drastiquement les recettes. A partir de 50% de substitution, la marge brute a été négative.

## **4. Discussion**

### ***4.1. Performances zootechniques***

Les performances réalisées par les animaux témoins ont été faibles avec moins de 1000 g après 6 semaines d'élevage. Celles-ci pourraient s'expliquer par la période expérimentale qui a coïncidé avec la saison des pluies caractérisée par une ambiance climatique contraignante où les températures et l'humidité relative ont atteint jusqu'à 34,0°C et 71,5% respectivement. En effet, chez la volaille, au-delà de 30°C, la production ainsi que les besoins associés diminuent significativement, avec une réduction de l'ingestion concomitante à une baisse des performances.

L'hypothèse d'une mauvaise conservation du tourteau d'arachide acquis dans le commerce, entraînant le développement de mycotoxines, n'a pas été écartée pour expliquer les faibles performances du groupe témoin (6).

Par ailleurs, ces faibles performances des témoins pourraient également être liées à un phénomène d'oxydation des lipides du mélange. En effet, il n'y avait pas d'antioxydant dans les provendes, et l'huile d'arachide incorporée dans les aliments afin d'assurer des conditions iso-lipidiques a pu s'oxyder. Le phénomène a moins de chances de s'être produit avec les fèves de coton car ces dernières sont très riches en vitamine E (16) et d'autre part ses huiles sont vraisemblablement mieux protégées à l'intérieur des cellules de la fève.

Le taux d'incorporation de la fève de coton a eu un effet négatif quasi géométrique sur les poids vifs des poulets. En effet, l'incorporation de coton s'est accompagnée d'une augmentation du niveau de gossypol et surtout du GL dans les aliments (1 200 et 1 500 ppm à respectivement 50% et 75% de substitution). Or l'effet dépressif de cette toxine sur la croissance des poulets a été rapporté par plusieurs auteurs (9, 10). Elle est à l'origine de la diminution de l'ingestion mais également de la formation, avec les résidus aminés libres des protéines – en particulier celle de la lysine - de bases de Schiff (13) qui réduisent la digestibilité des protéines (10).

Cette toxicité était d'autant plus prévisible que les fèves de coton n'ont subi aucun traitement chimique, thermique ou mécanique susceptible de réduire la teneur en GL en le dégradant, en l'éliminant ou en le fixant sur les protéines de la fève.

L'incorporation de la fève de coton a entraîné une diminution significative de la prise alimentaire, se surajoutant au niveau de consommation déjà faible des animaux témoins. L'effet du gossypol sur l'ingestion a déjà été rapporté, dès 244 mg de GL /kg (14). Le caractère amer du GL ainsi que la toxicité de cette substance sont vraisemblablement à l'origine des faibles prises alimentaires liées aux rations G25, G50 et G75.

Les indices de consommation obtenus ont été supérieurs à ceux rapportés par la plupart des auteurs (11, 13, 29, 22) qui ont travaillé dans une meilleure ambiance climatique. Cependant, des IC proche de ceux des rations G0 et G25 ont également été rapportés (27).

De manière surprenante, les résultats de cette étude montrent que la conversion alimentaire est restée satisfaisante, même avec les rations extrêmes. Cela est d'autant plus étonnant qu'avec une consommation journalière moyenne de l'ordre de 11 g par jour, les animaux du groupe G75 dépassaient de peu une consommation couvrant les besoins liés à leur métabolisme basal. Le très faible poids de ces animaux situe toutefois ces besoins à environ 5 g d'aliment, laissant une marge pour la production de viande.

Ces considérations évoquent la difficulté de définir la notion de performances et nécessitent de développer un calcul économique relatif aux différentes stratégies utilisées. En effet, si le temps de

production n'est pas une contrainte, les formules alimentaires autorisant la consommation maximale ne sont pas nécessairement plus profitables.

Cependant, l'évaluation de la marge brute (MB) révèle que cette activité n'est plus rentable à partir de 50% de substitution du tourteau d'arachide par la fève de coton et que même avec la plus faible incorporation de cet aliment, les recettes qui diminuent de moitié, conformément aux poids, conduisent à des marges très faibles. Toutefois, dans un contexte de production extensive villageoise, où les coûts des poussins et les frais de santé sont considérés comme négligeables et où le facteur temps n'est pas déterminant pour les éleveurs, le coût de l'aliment devient prépondérant. Les fèves de coton comme supplémentation dans une alimentation d'animaux divaguants pourraient alors se concevoir.

Le fait que les fèves de coton aient eu un impact si immédiat et important sur la consommation alimentaire et les performances zootechniques qui en découlent, alors que l'indice de consommation a beaucoup moins varié, doit amener à se poser la question de savoir si les fèves ont, ou non, une valeur intrinsèque et dans ce dernier cas si elles ont un impact négatif net sur la valorisation des autres ingrédients de la ration. Répondre à cette question nécessiterait de comparer les résultats obtenus avec des formules alimentaires dans lesquelles la fraction substituante (25, 50, 75%) serait retirée du mélange, sans que l'apport correspondant en tourteau d'arachide soit restitué, ou à tout le moins à concurrence de la valeur économique de la fraction retirée. Ces rations, plus pauvres en protéines, devraient être offertes à quantités journalières égales à celles obtenues avec les rations expérimentales actuelles. Des performances plus élevées signifieraient que les fèves exercent un effet négatif sur les autres constituants de la ration. A contrario, des performances inférieures signifieraient que les fèves de coton possèdent une valeur alimentaire nette positive. A défaut de pouvoir réaliser ces expériences, il est difficile d'affirmer que les fèves de coton peuvent être distribuées comme supplément chez des éleveurs traditionnels de poulets en liberté. Chez ces derniers, en effet, le prix du poussin et les frais vétérinaires peuvent être négligés, et le temps de production n'est pas une contrainte.

Les mortalités enregistrées dépassent la norme en aviculture au Sénégal, qui est de 5%. Les mortalités au démarrage sont vraisemblablement liées à l'ambiance climatique (7). Par contre en croissance, l'analyse des courbes de survie attribue une demi-vie de 40 jours environ aux animaux du groupe G75, valeur qui se démarque significativement des autres. Ceci remet au premier plan le caractère toxique du coton conventionnel, lié à la forte teneur en GL des provendes (13, 29).

Le tableau 3 indique les équations qui, parmi celles qui sont classiquement utilisées pour décrire des phénomènes biologiques, présentent les corrélations les plus élevées avec les données observées de mortalité, de poids vif et d'ingestion, liées aux taux d'incorporation des fèves de coton. Les modèles sont de type exponentiel, excepté celui décrivant la mortalité, qui est caractérisé par une valeur

constante de 15,5%, jusqu'à des taux d'incorporation de 42%, puis par une évolution de type exponentiel. Le taux de base représenterait alors l'impact lié aux conditions climatiques. Ceci suggère que l'effet négatif des fèves de coton est géométrique sur les principales performances zootechniques mais que les animaux présentent une tolérance de survie jusqu'à des taux d'environ 40% de substitution ou 10% d'incorporation dans la provende. Cette tolérance est assurée en partie par une réduction de la consommation alimentaire des animaux. En tout état de cause, ces résultats permettent de conseiller une limite maximale d'incorporation de fève de coton conventionnel de l'ordre de 10% dans la ration.

#### **4.2. Digestibilité des nutriments**

Comparée aux résultats de Ojewola et ses collaborateurs (22), la digestibilité de l'EE et de la MS ont été très faibles (respectivement 56,51 à 67,22% et 47,38% à 66,86% contre 91,47 à 95,57% et 81,98 à 85,72%). Dans les groupes recevant la fève, la digestibilité globale s'est toutefois révélée dans l'ensemble très faible (jusqu'à moins de 50%) suggérant ainsi que les animaux du groupe G75 ont quasiment souffert d'inanition suite au cumul d'une faible consommation et d'une faible digestibilité, expliquant vraisemblablement la mortalité enregistrée.

### **5. Conclusion**

Au contraire des tourteaux de coton, la fève est un produit pauvre en constituants pariétaux et très riche en lipides, justifiant ainsi de l'évaluer en production avicole. L'utilisation de la fève de coton dans les aliments pour poulets pose, comme attendu, de sérieux problème d'appétibilité et de toxicité pour les animaux. Néanmoins, incorporée à des taux ne dépassant pas 10% de la ration, la fève n'augmente pas la mortalité des animaux et reste relativement bien valorisée. Elle pourrait ainsi constituer une ressource protéique chez les éleveurs qui ne sont pas soumis à une contrainte de temps lors du processus d'élevage. Ces résultats laissent envisager que certaines variétés de coton plus pauvres en gossypol pourraient être particulièrement bien valorisées et absorber une partie de la demande en aliment protéique chez les industriels.

### **Références bibliographique**

1. Amehou S., Les Négociations de Juillet 2004, l'insertion du coton dans le dossier agricole et la mise en place du sous comité du coton: Conséquences et enjeux. 23 – 32. In Hazard E., Négociation commerciales internationales et réduction de la pauvreté: Le livre blanc sur le coton. *Enda ed. : Dakar*, 2005, 164p.
2. AOAC. Official methods of Analysis. 15th ed., 1990, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC



3. Barry Importations de volaille: Le secteur avicole menacé de disparition. [en ligne] (15/06/2004) Adresse URL [http://www.africatime.com/Senegal/nouvelle.asp?no\\_nouvelle=125195&no\\_categorie=](http://www.africatime.com/Senegal/nouvelle.asp?no_nouvelle=125195&no_categorie=) Consulté le 02/04/2006.
4. Buldgen A., Parent R., Steyaert P., Legrand D., 1996, Aviculture semi-industrielle en climat subtropical : Guide pratique. Les presses agronomiques de Gembloux, p122.
5. Dagrís. Sénégal : les clés d'une performance, La lettre de Dagrís n°21. [en ligne] (05/2007) Adresse URL <http://www.sodefitec.sn/pdf/lettre%20Dagrís%2021.pdf> Consulté le 19/04/2009.
6. Danick S., 2002, Prevention and control mycotoxins in the poultry production chain: A European view. *Poult. Sci.*, 58, 451 – 467.
7. Diaw M.T., Dieng A., Mergeai G., Youssouf I., Dottreppe O., Hornick J-L. Effect of groundnut cake substitution by glandless cottonseed kernels on broilers production: Animal performance, Nutrient digestibility, Carcass characteristics and fatty acid composition of muscle and fat. *Int. J. of Poult. Sci.*, 2009, (in press).
8. Direction de la Prévision et des Statistiques, Statistique 2008 de la filière avicole modern du Sénégal, Cimel de Mbao ed. : Dakar, 2009, 20p.
9. El-Boushy A.R. & Raterink R., 1989, Replacement of soybean meal by cottonseed meal and peanut meal or both in low energy diets for broilers. *Poult. Sci.*, 68, 799 – 804.
10. Fernandez S.R., Zhang Y. & Parson C.M., 1994, Effect of overheating on the nutritional quality of cottonseed meal. *Poult. Sci.*, 73, 1563 – 1571.
11. Gamboa D.A., Calhoun M.C., Kuhlmann S.W., Haq A.U. & Bailey C.A., 2001, Use of expander cottonseed meal in broiler diets formulated on a digestible Amino acid Basis. *Poult. Sci.*, 80, 789 – 794.
12. Guerre P., Galtier P. & Burgat V., 1996, Les aflatoxicoses chez l'animal : des manifestations cliniques mécanismes d'action. *Rev. Méd. Vét.*, 147, 497 – 518.
13. Henry M.H., Pesti G.M., Bakalli R., Lee J., Toledo R.T., Eitenmiller R.R. & Phillips R.D., 2001, The performance of Broiler chicks fed diets containing extruded cottonseed meal with Lysine. *Poult. Sci.*, 80, 762 – 768.
14. Husby F.M. & Kroening G.H., 1971, Energy value of cottonseed meal for swine. *J. Anim. Sci.*, 33, 592 – 603.
15. Institut National de Recherche Agricole, 1984, L'alimentation des animaux monogastriques: porcs, lapin, volailles (Eds) INRA Paris, Cedex 07, 23 282p.
16. Lennerts L., 1988, Oil cakes and oil seeds as raw material for the production of feed mixtures. Seven feedstuffs made from cottonseed. *Olk. Ols Roh. Misch. Prod.*, 129, 504 – 505.

17. Lordelo M.M., Davis A.J., Calhoun M.C., Dowd M.K. & Dale N.M., 2005, Relative toxicity of gossypol enantiomers broilers. *Poult. Sci.*, 84, 1376 – 1382.
18. Mergeai G., Baudoin J.P. & Vroh, Bi I., 1997, Exploitation of trispecific hybrids to introgress the glandless seed and glanded plant trait of *Gossypium sturtianum* Willis into *G. hirsutum* L. *Biotech. Agron. Soc. Environ.*, 1, 272-277.
19. Morgan S.E., Stair E.L., Martin T.M., Edwards W.C. & Morgan L. Clinical, clinicopathologic, pathologic, and alterations associated with gossypol toxicosis in feeder lambs. *Am. J. Vet. Res.*, 1988, 49, 493 – 499.
20. Nagalakshmi D., Savaran V., Rama R., Arun K.P. & Vadali R.B.S., 2007, Cottonseed meal in poultry diets: A review. *Int. J. of Poult Sci.*, 44, 119 – 134.
21. National Research Council, 1994, Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press Washnigton, DC.
22. Ojewola G.S., Ukachuckwu S.N. & Okulonye E.I., 2006, Cottonseed meal as substitute for soybean meal in broiler ration. *Int. J. of Poult. Sci.*, 5, 360 – 364.
23. Percy R.G., Calhoun M.C. & Kim H.L., 1996, Seed gossypol variation within gossypium barbadense. L. Cotton Crop. Sci., 36, 193 – 197.
24. Statistical Analysis System, 1999, Statistics User Guide, Stastical Analysis system, 5th ed., 8.2 version, Carry, NC: SAS Institute Inc.
25. Schmidely P. & Sauvant D., 2001, Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : Effets de l'apport de matière grasse ou d'aliment concentré. *INRA Prod. Anim.*, 14(5), 337 – 354.
26. Sy M. Effets de l'incorporation d'amande de coton gossypolé sur les performances de poulets de chair (Mémoire). ENSA (Sénégal), 2006, 49p.
27. Sekhar-Reddy P., Sudhakar-Reddy P., Satyanarayana-Reddy P.V.V. & Srinivasa Rao D., 1998, Influence of cottonseed cake on the performance of broilers. *Indian J. Anim. Nutr.*, 15, 188 – 193.
28. Texier P.H., 1993, Le coton, cinquième producteur mondial d'huile alimentaire. *Cotton Dev.*, 8: 2-3.
29. Watkins S.E., Saleh E.A. & Waldroup P.W., 2002, Reduction in dietary nutrient density aids in utilization of high protein cottonseed meal in broiler. *J. Poult. Res.*, 1, 53 – 58.

**Tableau 1** : Formules et composition chimique estimée et déterminée (démarrage et croissance) d'un aliment témoin contenant 25% de tourteau d'arachide (G0) et d'aliments où ce tourteau a été substitué à raison de 25 (G25), 50 (G50) et 75% (G75) par la fève de coton conventionnel.

	Aliments démarrage				Aliments croissance			
	G0	G25	G50	G75	G0	G25	G50	G75
<i>Aliments</i>								
Maïs	20,00	25,00	23,00	20,00	42,00	42,00	32,00	30,00
Mil	36,50	33,50	37,00	40,50	21,00	22,50	35,00	36,00
Tourteau d'arachide	25,00	18,75	12,50	6,25	25,00	18,75	12,50	6,25
Fève de coton	0,00	6,25	12,50	18,75	0,00	6,25	12,50	18,75
Farine de poisson	9,00	10,00	10,50	11,00	2,75	3,25	3,25	4,50
Phosphate tricalcique	1,24	0,30	0,00	0,00	1,50	1,50	0,50	0,25
Huile d'arachide	5,00	3,00	1,00	0,00	5,00	3,00	1,00	0,00
Lysine de synthèse	0,16	0,15	0,20	0,20	0,15	0,15	0,15	0,15
Méthionine de synthèse	0,10	0,05	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Prémix minéralo-vitaminé	3,00	3,00	3,20	3,20	2,50	2,50	3,00	4,00
<i>Composition calculée</i>								
E.M. (Kcal/kg.MS)	3203	3219	3217	3271	3259	3252	3268	3291
Protéine Brute (%)	23,7	23,7	23,8	23,6	20,5	20,4	20,4	20,5
Lysine (%)	1,2	1,3	1,4	1,4	0,9	1,0	1,0	1,2
Méthionine (%)	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6
Calcium (%)	1,8	1,5	1,5	1,5	1,4	1,5	1,3	1,5
Phosphore disponible (%)	0,6	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,5	0,6
Matière grasse (%)	9,7	9,7	9,7	10,6	9,8	9,8	9,8	10,6
Cellulose Brute (%)	5,2	5,2	5,3	5,2	5,4	5,4	5,4	5,4
Rapport (EM/PB)	135	136	135	139	159	160	160	160
Prix (en Fcfa)	254,4	235,6	221,6	210,7	239,7	221,6	204,1	201,5
<i>Composition déterminée</i>								
Protéine Brute (%)	20,5	21,3	21,7	20,0	19,5	17,4	18,0	19,5
Matières Grasse (%)	12,2	10,9	9,9	11,1	10,0	9,6	6,6	6,8
Celluloses Brute (%)	2,5	3,2	2,7	2,3	2,7	2,3	2,6	3,2
Matière sèche (%)	93,3	93,6	92,7	93,4	93,7	93,3	93,2	93,7
Cendre (%)	6,3	7,6	7,5	8,8	7,6	6,8	12,1	11,5
Calcium (%)	11,1	9,8	10,0	12,8	10,2	8,9	11,7	16,7
Phosphore disponible (%)	8,8	7,6	8,2	9,5	8,3	7,2	7,7	9,1
Potassium (%)	5,6	5,4	5,6	5,0	5,6	4,9	5,9	6,0
Sodium (%)	1,0	0,8	0,9	1,3	0,5	0,5	0,8	1,1
Magnésium (%)	2,2	1,9	2,2	1,8	1,8	1,8	2,3	2,6
Gossypol total (ppm)	0,0	580	1930	2507	0,0	734	1807	2642
Gossypol libre (ppm)	0,0	562	1338	1751	0,0	528	1224	1552

EM : Energie métabolisable

**Tableau 2** : Performances zootechniques, digestibilité des nutriments et évaluation économique chez des poulets ayant reçus un aliment contenant 25% de tourteau d'arachide (G0) ou des aliments où ce tourteau d'arachide a été substitué à raison de 25 (G25), 50 (G50) et 75% (G75) par la fève de coton conventionnel.

	G0	G25	G50	G75	Pr > F	ETM
<i>Performances zootechniques</i>						
Poids vifs (g)						
Initial (J_01)	43	42	42	42	0,929	0,62
Fin du démarrage (J_21)	353a	216b	179c	115d	<0,001	7,66
Final (J_43)	991a	466b	266c	192c	<0,001	27,53
Gains quotidien moyens (g/j)						
Démarrage	14,8	8,3	5,1	3,5	-	-
Croissance	30,4	11,9	5,5	3,7	-	-
Prise alimentaire cumulée (g)						
Démarrage	627	358	245	174	-	-
Croissance	1734	825	457	280	-	-
Indice de consommation						
Démarrage	1,59	1,83	2,08	2,29	-	-
Croissance	2,72	3,30	3,95	3,64	-	-
Mortalité (%)						
Démarrage	15,15	12,00	18,00	28,28	-	-
Croissance	1,01	2,00	3,00	25,25	-	-
<i>Digestibilité (%)</i>						
Démarrage						
Matières sèches	64,8a	62,7ab	57,7b	47,4c	<0,001	0,99
Matières organiques	71,6a	66,8ab	60,8b	49,9c	<0,001	0,92
Extraits éthérés	65,8a	62,8a	60,8ab	56,5b	<0,001	0,89
Croissance						
Matières sèches	66,9a	62,6ab	60,0b	57,7c	<0,001	0,99
Matières organiques	71,3a	64,1ab	62,3bc	55,5c	<0,001	0,92
Extraits éthérés	67,2a	64,1b	60,3c	57,9c	<0,001	0,89
<i>Calculs économique*</i>						
A- Coût des poussins (370 Fcfa/poussin)	37 000	37 000	37 000	37 000	-	-
B- Coût total de l'aliment (Fcfa)	24 222	11 588	5 932	2 828	-	-
C- Coût des produits vétérinaire (Fcfa)	5 375	5 375	5 375	5 375	-	-
D- Charges de productions (A+B+C)	66 597	53 963	48 307	45 203	-	-
Nombre de poulets commercialisés	84	86	79	46	-	-
Poids moyens (kg)	0,991	0,466	0,266	0,192	-	-
G- Recettes (1598 Fcfa/kg)	132 996	64 040	33 546	14 136	-	-
Marge brute (G – D)	66 399	10 077	-14 760	-31 067	-	-
Marge brute par poussin départ	664	101	-148	-311	-	-

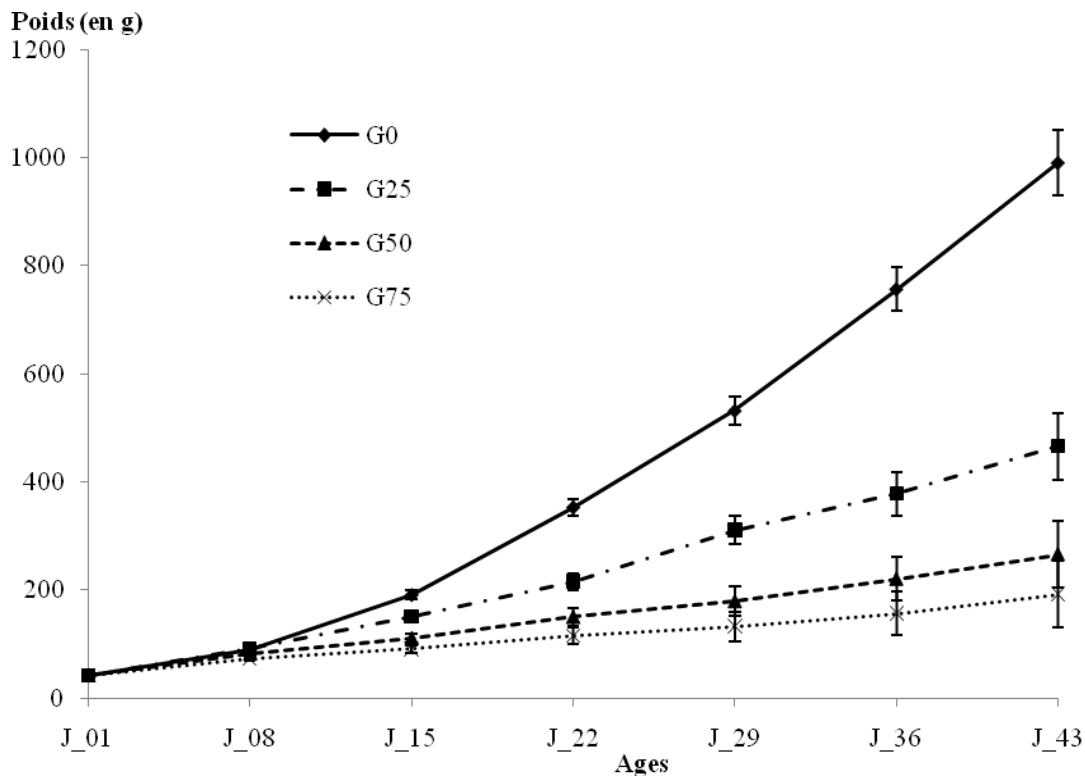
ETM : Ecart-type de la moyenne ; a, b, c : les moyennes n'ayant pas de lettres en commun dans une ligne sont significativement différentes au seuil P < 0,05).

\* : Ces calculs économiques n'ont pas tenu compte de l'amortissement du matériel d'exploitation et du poulailler

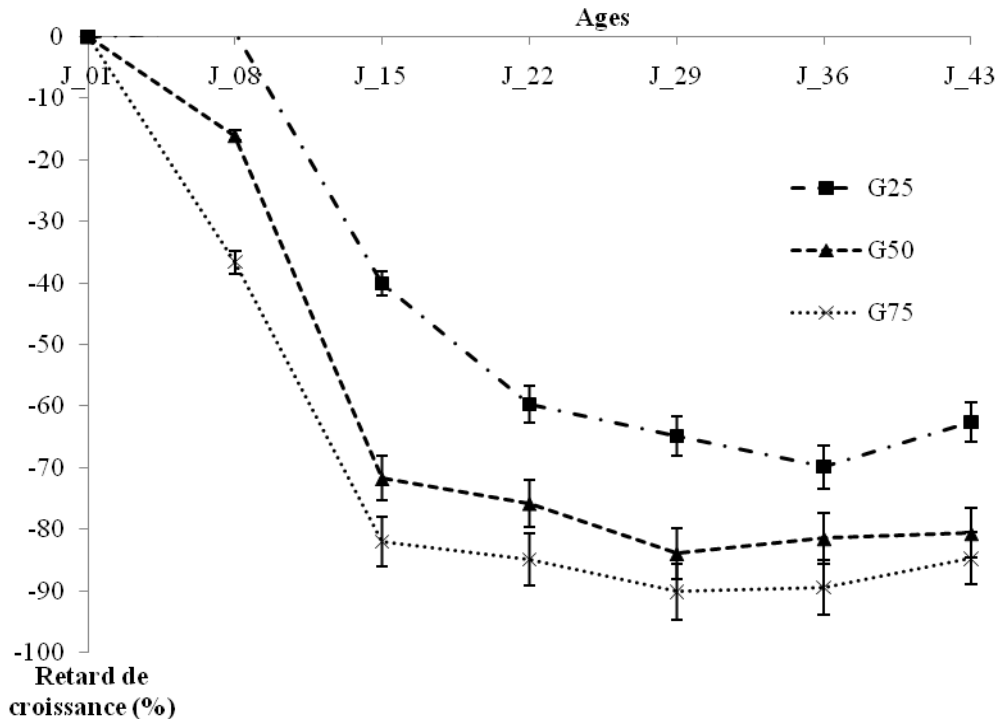
**Tableau 3** : Equations de prédictions de la mortalité (M), du poids vif (PV) et de l'ingestion (I) chez des poulets en fonction du taux d'incorporation de fèves de coton conventionnel dans la ration.

	Equations	R <sup>2</sup>
Mortalité (M)	si $\tau < 42\%$ , alors $M = 15,5$ si $\tau > 42\%$ , alors $M = 3,29 \times e^{(0,037 \times \tau)}$	0,993
Poids vif (PV)	$PV \text{ (en g)} = 891,63 \times e^{(-0,022 \times \tau)}$	0,970
Ingestion (I)	$I \text{ (en g)} = 2205,9 \times e^{(-0,022 \times \tau)}$	0,989

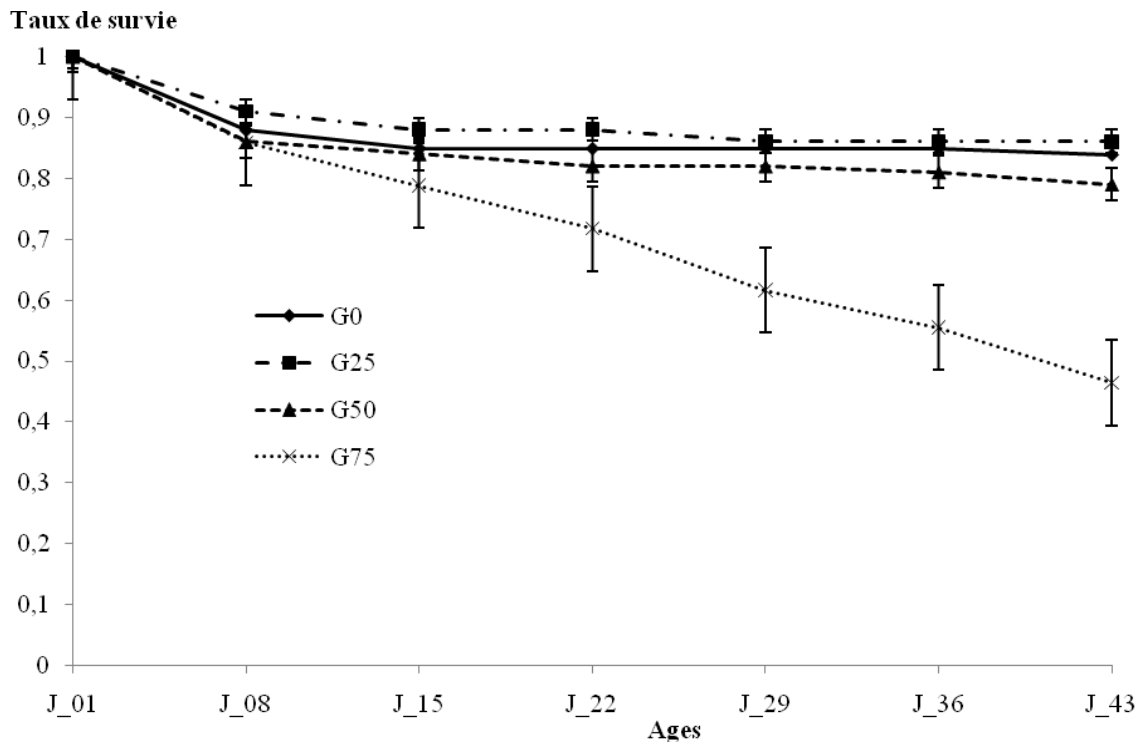
M : mortalité (%);  $\tau$  : Taux de substitution par la fève de coton dans la ration (en %) avec  $0 \leq \tau \leq 100$



**Figure 1**: Evolution du poids vif de poulets ayant reçus un aliment contenant 25% de tourteau d'arachide (G0) ou des aliments où ce tourteau d'arachide a été substitué à raison de 25 (G25), 50 (G50) et 75% (G75) par la fève de coton conventionnel.



**Figure 2:** Evolution du niveau de retard de croissance de poulets ayant reçu un aliment contenant 25% de tourteau d'arachide (G0) ou des aliments où ce tourteau d'arachide a été substitué à raison de 25 (G25), 50 (G50) et 75% (G75) par la fève de coton conventionnel.



**Figure 3:** Evolution du taux de survie de poulets ayant reçu un aliment contenant 25% de tourteau d'arachide (G0) ou des aliments où ce tourteau d'arachide a été substitué à raison de 25 (G25), 50 (G50) et 75% (G75) par la fève de coton conventionnel.

## **Chapitre III**

---

**La fève de coton « Glandless » en production de poulets au Sénégal**

**Effect of groundnut cake substitution by glandless cottonseed kernels on broilers production: animal performance, nutrient digestibility, carcass characteristics and fatty acid composition of muscle and fat**

---

Article 3 – Accepté pour publication par *Int. J. P.oult. Sci.*

**Mamadou Tandiag Diaw, Abdoulaye Dieng, Guy Mergeai, Ibrahima Youssouf, Jean-Luc Hornick**

**Summary**

A study has been conducted with broilers to assess, during the rainy season, the effects of groundnut cake substitution by glandless cottonseed kernel (CSK), at levels of 0, 25, 50 and 75%. The substitution improved linearly feed intake and animal growth, as well as carcass component weights and allometric parameters. The CSK increased the C18:2 n-6 to C18:1 n-9 ratio, as well in diet as in meat and subcutaneous fat. In order to explain the observed performances, the possibility is considered that broilers used preferentially C18:2 n-6 fatty acids for their metabolism. Complete glandless cottonseed kernels are probably highly valuable for broilers production in warm and wet conditions.

**Key words:** Groundnut cake; cottonseed kernels; glandless; broilers



## 1. Introduction

Cotton is the second best protein-producing plant in the world after soybean and the seeds are potentially a valuable feed for poultry. The presence of the terpenoid aldehyde gossypol, particularly noxious for monogastrics (Lusas and Jinidin, 1987; Alford *et al.*, 1996; Morgan *et al.*, 1988; Willard *et al.*, 1995), prevents however the extensive use of cottonseed by-products in this species (Azman and Yilmaz, 2005), inasmuch as they are often high in cellulose (Gamboa *et al.*, 2001; Ojewola *et al.*, 2006).

Some decades ago, a cotton mutant totally devoid of gossypol has been discovered but despite the high nutritive value of the seeds, efforts ended up in commercial failure because of the plant's susceptibility to insects (Altman *et al.*, 1990).

Breeding efforts are now being made in different parts of the world to develop cotton varieties presenting gossypol glands in their aerial organs but not in the seeds (Vroh bi *et al.*, 1999; Sunilkumar *et al.*, 2006). The progresses made in this field could lead to the production of cotton seeds available for monogastric.

Literature reporting the use of cotton cake in poultry exists (Ojewola *et al.*, 2006; Nagalakshmi *et al.*, 2007). That concerning the effects of glandless varieties is, as for it, scarce (Yo, 1991). Like cottonseed meal, cotton seed kernels (CSK) are high in protein, but they are also naturally high in lipids, low in fibre, and they do not require high technicality to be obtained. Moreover, lipids are intracellular and are thus presumably better protected against oxidation than oils offered as energy source in poultry.

The aim of this experiment was thus to study, in broilers, the effects of groundnut cake substitution by increasing levels of CSK deprived of gossypol glands on animal performance, nutrient digestibility, carcass characteristics and fatty acid composition of broilers' muscle and subcutaneous fat.

## 2. Materials and Methods

The trial was approved by the Ethical Committee of the Faculty of Veterinary Medicine of the University of Liège (Belgium). The experiment was planned at the end of the rainy season 2006, at the Experimental Station of the Formation and Research Unity of Agronomic Science and Rural Development of the University of Thiès (Senegal).

During the experiment, temperature and moisture were daily recorded at 07.00 a.m., 01.00 p.m. and 06.00 p.m. The mean temperature was 31.0°C, with minima and maxima of  $26.8 \pm 2.2^\circ\text{C}$  and  $34.1 \pm 2.0^\circ\text{C}$  measured respectively at 07.00 a.m. and 01.00 p.m., and mean moisture was 60.2%, comprised between  $48.0 \pm 9.7\%$  and  $71.5 \pm 10.7\%$ .

Four hundred 1-d-old unsexed and unidentified Cobb 500 broilers were used in this experiment. They were randomly assigned to four groups: a control group (CG) that received a diet containing groundnut cake as main protein source, and 3 other groups that received diets in which groundnut cake was substituted with increasing levels of shelled gossypol-free cotton seed kernels produced from *Gossypium hirsutum* cultivar GL7 (25, 50 and 75% substitution for G25, G50 and G75 groups, respectively). Each group was divided in two homogenous blocks.

A starting diet was used until 21 days old and a growing diet was offered afterwards until slaughter at d45. The different diets were formulated to present theoretical iso-proteic and iso-energetic characteristics. Iso-EE diets levels were ensured by the use of groundnut oil addition, with respect to the levels of substitution. Consequently, levels of nutrients were that recommended by the National Research Council (NRC, 1994), but ME that was expected to be slightly higher than classical recommendations. Feed and water were provided on a marginal *ad libitum* basis for the duration of the experiment.

Individual body weights (BW) were obtained on d1 and once a week thereafter. Birds were observed twice daily to assess healthiness and death occurrence. Feed intake (FI) was recorded weekly.

At the end of the experiment, 5 animals par group were randomly chosen and killed by cervical rupture. They were eviscerated for carcass characteristics determination. Individual weights of carcass, breast, legs and wings were measured. Samples of breast muscle and subcutaneous adipose tissue were obtained on each carcass and frozen for further chemical analyze.

Nutrient digestibility was evaluated with five additional 6-w-old Cobb 500 broilers, mean BW of 1300 g, for each of the 4 diets and two periods. They were penned in individual metabolism cages and, after an adaptation period, feed intakes, refusals and faeces were obtained once a day over a period of 7 d. Nutrient digestibility was calculated as the ratio (nutrient intake – faecal nutrient) / nutrient intake.

The prophylactic program was the one used in poultry production in Senegal and during the experimental period no sanitary trouble was identified.

The amino acid composition of the cotton seeds was obtained by liquid chromatography and compared to that of the groundnut as reported by the literature (Henry *et al.*, 2001), allowing thus subsequent formulation. Aflatoxins levels (B1, B2, G1 and G2) were determined in groundnut cake and in the control diets by liquid chromatography according to the 92/95 and 94/14 directives of the European Commission. Total and free gossypols in diets were determined according to the 72/199/CEE directive of the European Commission.

Dry matter (DM), ash, crude fiber (CF) and ether extract (EE) were analysed according to AOAC (1990) procedures. Crude protein was determined by the Kjeldahl method, as nitrogen (N) x 6.25. Calcium (Ca), magnesium (Mg), iron (Fe), zinc (Zn) and copper (Cu) were determined by atomic absorption and potassium (K) and sodium (Na) by flame emission. Total phosphorus (P) was determined by spectrophotometry. Sample solutions were prepared using wet digestion procedure.

Metabolizable Energy (ME) was calculated by an indirect method, using the INRA equation (1984) where True ME (Mj/kg DM) = (3951 + 54.4 EE – 88.7 CF – 40.8 ash)\*0.004184, where nutrient contents are expressed in % DM.

The determination of the fatty acid profile of diets, meat and fat was performed using gas chromatography (GC) after extraction and trans-esterification of fatty acids according to the method of Sukhija and Palmquist (1988). A combined one-step extraction and esterification method was carried out using a mixture of solvents containing methanol, benzene and acetyl chloride, to produce the different fatty acid methyl esters. The internal standard was nonadecylic acid (C19:0). A 1 µl aliquot was injected into a Chrompack CP 9001 chromatograph (Middelburg, The Netherlands) fitted with a CP-9010 automatic liquid sampler, a split-splitless injector and a 901A flame ionization detector (Chrompack, Middelburg, The Netherlands). The GC system was fitted with an Omegawax 320 fused silica capillary column (30 m x 32 mm i.d.) with a stationary polyethylene glycol phase (Supelco, Bellefonte, United States of America) coated with a 0.25 µm film thickness. Hydrogen was used as carrier gas at a pressure on the top of the column of 50 kPa. The column temperature was programmed from 120 to 240 °C at a rate of 5 °C/min. The temperatures of the injection port and detector were 250 °C and 260 °C respectively. The injection was performed in the split mode with a split ratio of 1:25. The software Alltech Allchrome Plus Chromatography Data System Version 1.4.2.1, Alltech Associates Inc., Lokeren, Belgium) was used for data processing. Fatty acids were identified by comparison of their retention times with that of the corresponding standard mix (Supelco 37 Component FAME Mix, Sigma-Aldrich, Bornem, Belgium).

The data were analysed according to General Linear Models (SAS Institute, 1999). The level of CSK incorporation was the main effect considered. When possible, the block and the interaction level of incorporation x block effects were estimated and considered as random. Owing to the variability in muscle ether extract, muscle fatty acids concentrations were analysed using muscle ether extract as covariable. The fatty acids proportions in subcutaneous and muscle fats (% fat) were analysed using the level of CSK incorporation, the fat localisation (muscle or subcutaneous fat) and their interaction as factors of variation.

Means were compared according to Student's t-test.

### 3. Results

The only significant B1 aflatoxin level in groundnut cake was found to be low, at 0.13 mg/kg feed, allowing levels as low as 0.037 mg/kg in control diet. The amino acid profile of the glandless cottonseed kernels used in this experiment was similar to that classically reported for cotton cake (Table 1). Methionine and Lysine levels were close to that reported by Amipig (2000) for the groundnut cake (respectively 5.2 and 16.8 vs 4.7 and 12.4 g/kg feed).

As expected, the high fat levels in diets, close to 100g/kg, increased ME levels above values currently reported in poultry production (Table 2). Total gossypol remained largely lower than the critical levels reported for poultry in the literature (Lordelo *et al.*, 2005). Free gossypol, as for it, was not detected.

In decreasing importance, C18:1 n-9, C18:2 n-6 and C16:0 accounted for about 90% of the total fatty acids of the diets (Table 3). The main characteristic of the fat diets was an inversion of the ratio C18:1/C18:2 between the extreme regimens (about 1.6 for CG to about 0.7 for G75). The saturated fatty acids (SFA) levels remained close to 20%. Consequently, a shift from a dominant monounsaturated (MUFA) to a dominant polyunsaturated (PUFA) profile was observed when turning from control to G75 diet.

The BW at the end of the starting and of the growing period was significantly ( $P < 0.001$ ) affected by the level of substitution ( $P < 0.001$ ; Table 4). Control group reached weight close to 1100 kg at the end of the experiment vs 1900g in G75. The linear correlation between final live weight and level of substitution allowed to estimate final BW for total groundnut substitution at 2211 g.

ADG and FI were sharply affected by the level of substitution. ADG increased quasi-linearly with the level of glandless seeds, as well as during the starting than during the finishing period. FI almost doubled when turning from CG to G75 groups, whatever the considered period. Intra-period FCR were similar between groups, although they decreased with the level of CSK substitution during the growing period (2.39 in G75 vs 2.72 in CG).

Nutrient digestibility ranged between 65 to 74%, according to the nutrient, and was not affected by the treatments (Table 5).

Owing to the effect of CSK on final weight, the weight of carcass and of carcass components increased significantly with CSK incorporation (Table 6). However, the weights of liver, heart and gizzard did not change. As a consequence, the dressing proportion increased, as well as the ratio of the breast to carcass ( $P < 0.05$ ). Other ratio did not differ between treatments.

Ether extract in meat DM ranged from 63 to 77 g/kg in CG and G75, respectively, and was similar between groups (Table 7). The SFA almost doubled from CG to G75 ( $P < 0.002$ ) while MUFA showed opposite evolution. The PUFA increased with CSK incorporation but to a lesser extent (13.7 vs 18.4 g/kg DM in CG and G75 respectively,  $P < 0.015$ ). As a consequence, the ratios having SFA as denominator decreased significantly with CSK incorporation, excepted for PUFA/SFA (NS), while PUFA/MUFA increased (more than doubled), as did the ratio n-6 to n-3 fatty acids.

Considered individually, SFA increased with CSK incorporation but C16:0, followed with C18:0, represented far the highest fraction of this family. Individual MUFA behaved as total MUFA but C18:1 represented far the largest fraction of this family. Among PUFA, C18:2 n-6 accounted for about 75% of total PUFA. Only C18:2 n-6, C18:3 n-6 and 18:3 n-3 increased significantly with CSK incorporation. However, although total n-6 fatty acids increased with treatment, total n-3 fatty acids remained as low as about 9.5 g/kg muscle DM (NS).

The fatty acids proportions in subcutaneous and muscle fat are given in Table 8. The main fatty acids found in animal fats were, by decreasing importance, C18:1, C16:0, C18:2n6 and C18:0. Together, they represented 90% of the total fatty acids identified. The CSK incorporation increased the proportions of SFA in subcutaneous and, especially, in meat fat ( $P < 0.05$  for the interaction effect). The mean values changed from about 30% of fat in CG to 42% in G75. By contrast, MUFA proportion decreased in opposite sense, ranging from about 45 to 50% in CG to 42% in G75, the location effect being not significant. The PUFA proportions were influenced only by the level of substitution: the levels increased from about 21% in CG to about 25% in G75. The sum of n-6 fatty acids behaved closely to PUFA and the sum of n-3 fatty acids were not influenced by treatment. Its levels were however trebled when turning from subcutaneous fat to meat fat. As a consequence, the ratios containing SFA as denominator decreased with CSK incorporation, especially MUFA/SFA, and were higher in meat fat. By contrast, PUFA/MUFA increased with CSK incorporation while its values remained higher in meat. The ratio n-6 to n-3 fatty acids increased with CSK incorporation and to a largely higher extent in subcutaneous fat.

Taken individually, the fatty acids were essentially represented, in both fat and in decreasing order, by C18:1, C16:0 or C18:2 n-6, C18:0 and C16:1. The C14:0, C16:0 and C18:0 fatty acids behaved as SFA - increasing with CSK incorporation - the extent of changes being the most marked for C18:0 in subcutaneous fat and similar between fatty acids in meat fat. Among MUFA, C18:1 represented the very larger proportion and thus showed, with CSK incorporation, a decrease similar to total MUFA. This decrease was higher in meat fat. Among PUFA, C18:2 n-6 represented the very larger proportion. It showed noticeable changes, increasing with CSK incorporation, but the increase was not significant in subcutaneous fat and marked in meat fat. The C18:3 n-3 proportion, although weak in both fats, decreased significantly with CSK incorporation in subcutaneous fat and increased in meat fat.

#### 4. Discussion

There are few recommendations concerning fat levels in poultry feeding but chicken are able to tolerate very high proportions of neutral fat in the diet (Brambila and Hill, 1966). In the present experiment, the levels of 10 to 12 % EE in diet were thus compatible with fattening. Fat sources are either useful for poultry feeding under warm climates because they allow compensating the drop in voluntary feed intake observed when temperature is high (Nahashon *et al.*, 2006).

The lack of significant gossypol levels in the diets, especially free gossypol, indicates that the CSK used in this experiment was safety for poultry and was a good source of energy, owing to their high levels of fat, at about 37 % of the DM.

The final BW of the control groups was weak when considering the standard values reported for Cobb (2004). Aflatoxins incidence could be neglected since their levels were largely lower than the levels of 1 mg/kg causing a 5% reduction in growth rate in poultry, as reported by Dersjant-Li *et al.* (2003). The low growth of the CG was probably due to the fact that the experiment was carried out at the end of the rainy season under hot and wet climate, i.e., suboptimal conditions for broiler production. Indeed, over 30°C, FI decreases drastically in order to limit endogenous heat production, reducing growth performances and thus final BW (Dale and Fuller, 1979). Cooper and Washburn (1998) yet shown that broilers exposed to 32°C expressed almost half the growth performed at 21°C. Considering the iso-nutrient conditions scheduled in this experiment, the effects of CSK substitution on animal growth and on carcass characteristics, with emphasis the higher development of breast, are thus surprising. The higher performances were clearly associated with higher FI, but not with better FCR. This firstly indicates the high palatability of glandless CSK for poultry. The amino acid profile was assumed similar between groundnut and CSK proteins. The most significant difference between diets was the ratio of CSK to both groundnut cake and groundnut oil. Consequently, the effects of the treatments could be ascribed to differences in fatty acid profile. Grains are generally rich in linoleic acid (Watkins, 1991), and poultry are adapted to grain intake. The shift in fatty acid profile from C18:1n-9 to C18:2 n-6 might thus explain the increased diet palatability.

Possibly, it also modified fatty acid metabolism. Some fatty acids have specific effect on metabolic pathways. These aspects are poorly known in poultry and are largely based on mammalian models. Briefly, the n-6 family promote the pro-inflammatory arachidonate way while n-3 family promote the pro anti-inflammatory eicosapentanoate one. These ways have specific effects on animal growth (Watkins, 1991).

Theoretically, in this experiment the C18:1 n-9/C18:2 n-6 shift promoted the arachidonate way and thus the fatty acids from n-6 family. However, excepted for C18:3 n-6 concentration in muscle DM,

no detectable effect of the treatment could be observed on fatty acids levels from n-6 family. The differences in animal weight and carcass characteristics could be thus hardly ascribed to differences in n-6 vs n-3 metabolic pathways.

According to a feed conversion ratio close to 2, to the approximatively 110g fat /kg diet offered to birds in this experiment, and to a fat digestibility of about 70% (see tables), the animals ate about 154 g digestible fat par kg live weight. Considering 15 g fat/kg muscle (i.e., about 60 g fat/kg muscle DM, table 7), body muscle proportion of about 750 g/kg, and 100 g adipose tissue/kg body, or about 80-120g total fat/kg body weight (Mitchell *et al.*, 1997), animals fixed less fat than amounts digested, in as much as endogenous fat synthesis was not taken into account in this calculation. In these conditions, fatty acid catabolism should have occurred in animals. But also, the C16:0 and C18:0 levels - or proportions - in meat and fat of the animals that received CSK increased sharply, indicating a higher lipogenic activity. It is questionable whether poultry degrades preferentially fatty acids belonging to certain families. It is not excluded that the ability of poultry to metabolise n-6 fatty acids is higher than that to metabolise fatty acids from n-9 serie, with emphasis the oleic acid. The hypothesis for efficient n-6 catabolism in poultry is supported by the fact that there is generally a weak relationship between n-6 diet incorporation and levels of n-6 in animal tissues (Lopez-Ferrer *et al.*, 1991; Bavelaar and Beynen, 2003).

This experiment suggests thus that poultry used unsaturated fatty acids for their energy metabolism and thus spared others nutrients of the diets, such as starch, for lipid synthesis. In such conditions, the resistance of poultry to warm conditions may have been improved with CSK. If this hypothesis was confirmed, the use of CSK could be promoted in poultry feeding under warm conditions.

Concerning the chemical fatty acid profiles of adipose and muscle tissue, MUFA and SFA were the main fractions. These results are in agreement with those of Sheu and Chen (2002), De Marchi *et al.* (2005) and Jahan and Paterson (2007) that observed that C18: 1 n-9, C18: 0 and C18: 2 n-6 were, by decreasing order, the most abundant fatty acids in the abdominal muscles of the chickens. In our experiment, the main fatty acids were respectively C18:1 n-9, C16:0, C18:2 n-6 and C18:0, with more than 90% fatty acids.

As previously seen, this profile doesn't match that, more unsaturated, that characterizes the fat of groundnut or cotton, or the fat of the diets formulated in this experiment. However, the experimental changes in fatty acids levels or proportions observed in meat and fat are in agreement with those observed in the diets offered, i.e., a decrease in C18:1 n-9 and an increase in C18:2 n-6 with CSK incorporation.

Meat fatty acid profile from birds could be easily modified by nutritional manipulations (Chanmugam *et al.*, 1992; Schiavone *et al.*, 2004). O'Keefe *et al.* (1995) and Jahan *et al.* (2004) reported that the n-3 fatty acid levels in the pectoral muscles depended of the feed fatty acid profile. Meta-analysis performed by Bavelaar and Beynen (2003) highlighted the relationships between dietary n-3 and n-6 fatty acids and corresponding levels in meat and fat. Crespo and Esteve-Garcia (2001), as for them, observed that the extents of PUFA changes were more pronounced in meat fat than in abdominal fat. Similar observations were made in this experiment between breast fat and subcutaneous fat, the response of fat tissue in terms of PUFA being not significant.

## 5. Conclusion

In conclusion, the substitution of groundnut cake by CSK in iso-nutrient broiler diets had a positive linear effect on diet palatability, animal growth and carcass yield. Changes in dietary fatty acid profiles were observed in subcutaneous fat and in meat fat. These changes suggest a preferential catabolism of a certain type of unsaturated fatty acids for energy production. It appears also that fatty acid changes differed according to the type of body fat. Finally, glandless cotton seeds could be probably considered as a high-quality feed in broiler production, especially when temperature and moisture are high.

## Aknowledgements

The authors would like to acknowledge the University Commission for Development (CUD) of Belgium for providing financial support to this study.

## References

- Alford, B.B., G.U. Liepa and A.D. Vanberber, 1996. Cottonseed protein: What does the future hold? *Plant Food Hum. Nutr.*, 49: 1-11.
- Altman, D.W., R.D. Stipanovic and Bell, A.A., 1990. Terpenoids in foliar pigment glands of A, D, and AD genome cottons: Introgression potential for pest resistance. *J. Hered.*, 81: 447-454.
- Amipig, 2000. Digestibilité idéales standardisée des acides aminés des matières premières chez le porc. <http://www.feedbase.com/downloads/amipfra.pdf> (accessed 11th April 2007).
- AOAC, 1990. Official methods of Analysis, 15th edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- Azman, M.A. and M. Yilmaz, 2005. The growth performance of broiler chicks fed with diets containing CSM supplemented with Lysine. *Rev. Med. Vet.*, 156 (Suppl. 2) : 104-106.
- Bavelaar, F.J. and A.C. Beynen, 2003. Relationships between dietary fatty acid composition and either melting point or fatty acid profile of adipose tissue in broilers. *Meat Sci.*, 64: 133-140.



- Brambila, S. and F.W. Hill, 1966. Comparison of neutral fat and free fatty acids in high lipid-low carbohydrate diets for the growing chicken. *J. Nutr.*, 88: 84-92.
- Chanmugam, P., M. Boudreau, T. Boutte, R.S. Park, J. Hebert, L. Berrio and D.H. Hwang, 1992. Incorporation of different types of n-3 fatty acids into tissue lipids of poultry. *Poult. Sci.*, 71: 516-521.
- Cobb, 2004. Cobb broiler management guide. [http://www.cobb-vantress.com/Publications/documents/focus\\_cobb\\_1-05.pdf](http://www.cobb-vantress.com/Publications/documents/focus_cobb_1-05.pdf) (Accessed 23th february 2007).
- Cooper, M.A. and K.W. Washburn, 1998. The relationships of body temperature to weight gain, feed consumption and feed utilization in broilers under heat stress. *Poult. Sci.*, 77: 237-242
- Crespo, N. and E. Esteve-Garcia, 2001. Dietary fatty acid profile modifies abdominal deposition in Broiler chickens. *Poult. Sci.*, 80: 71-78.
- Dale, N.M. and H.L. Fuller, 1979. Effects of diet composition on feed intake and growth of chicks under heat stress. I. Dietary fat levels. *Poult. Sci.*, 58:1529–1534.
- De Marchi, M., M. Cassandro, E. Lunardi, G. Baldan and P.B. Siegel, 2005. Carcass characteristics and qualitative meat traits of the Padovana breed of chicken. *Int. J. Poult. Sci.*, 4: 233-238.
- Dersjant-Li, Y., M.W. Verstegen and W.J. Gerrits, 2003. The impact of low concentrations of aflatoxin, deoxynivalenol or fumonisin in diets on growing pigs and poultry. *Nutr. Res. Rev.*, 16: 223-39.
- Gamboa, D.A., M.C. Calhoun, S.W. Kuhlmann, A.U. Haq and C.A. Bailey, 2001. Use of expander cottonseed meal in broiler diets formulated on a digestible Amino acid Basis. *Poult. Sci.*, 80: 789-794.
- Henry, M.H., G.M. Pesti, R. Bakalli, J. Lee, R.T. Toledo, R.R. Eitenmiller and R.D. Phillips, 2001. The performance of Broiler chicks fed diets containing extruded cottonseed meal with Lysine. *Poult. Sci.*, 80: 762 – 768.
- INRA, 1984. L'alimentation des animaux monogastriques : porcs, lapin, volailles. INRA, Paris.
- Jahan, K. and A. Paterson, 2007. Lipid composition of retailed organic, free-range and conventional chicken breasts. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 42: 251-262.
- Jahan, K, A. Paterson and C. M. Spickett, 2004. Fatty acid composition, antioxidants and lipid oxidation in chicken breasts from different production regimes. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 39: 443-453.
- Lopez-Ferrer, S., M.D. Baucells, A.C. Barroeta and M.A. Grashorn, 2001. n-3 enrichment of chicken meat. 1. Use of very long-chain fatty acids in chicken diets and their influence on meat quality: fish oil. *Poult. Sci.*, 80: 741-752.
- Lordelo, M.M., A.J. Davis, M.C. Calhoun, M.K. Dowd and N.M. Dale, 2005. Relative toxicity of gossypol enantiomers in broilers. *Poult. Sci.*, 84: 1376-1382.

- Lusas, E.W. and G.M. Jinidin, 1987. Glandless cottonseed: A review of the first 25 years of processing and utilisation research. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 64: 839-854.
- Mitchell, A.D., R.W. Rosebrough and J.M. Conway, 1997. Body composition analysis of chickens by dual energy x-ray absorptiometry. *Poult. Sci.*, 76: 1746-1752.
- Morgan, S.E., E.L. Stair, T.M. Martin, W.C. Edwards and L. Morgan, 1988. Clinical, clinicopathologic, pathologic, and alterations associated with gossypol toxicosis in feeder lambs. *Am. J. Vet. Res.*, 49: 493-499.
- Nagalakshmi, D., V. Savaram and R. Rama., 2007. Cottonseed meal in poultry diets: A review. *Poult. Sci.*, 44: 119-134.
- Nahashon, S.N., N. Adefope, A. Amenyenu and D. Wright, 2006. Effect of Varying Metabolizable Energy and Crude Protein Concentrations in Diets of Pearl Gray Guinea Fowl Pullets 1. Growth Performance. *Poult. Sci.*, 85: 1847-1854.
- NRC, 1994. *Nutrient Requirements of Poultry*, 9<sup>th</sup> Rev ed., Washington, DC, National Academy Press.
- O'Keefe, S.F., F.G. Proudfoot and R.G. Ackman, 1995. Lipid oxidation in meats of omega-3 fatty acid enriched broiler chickens. *Food Res. Int.*, 28: 417-424.
- Ojewola, G.S., S.N. Ukachuckwu and E.I. Okulonye, 2006. Cottonseed meal as substitute for soybean meal in broiler ration. *Int. J. Poult. Sci.*, 5: 360-364.
- SAS Institute, 1999. *Statistics Users Guide, Statistical Analysis System*, 5th edition, 8.2 version, Cary, NC, SAS Institute Inc.
- Schiavone, A., I. Romboli, R. Chiarini and M. Marzoni, 2004. Influence of dietary lipid source and strain on fatty acid composition of Muscovy duck meat. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 88: 88-93.
- Sheu, K.S. and T.C. Chen, 2002. Yield and quality characteristics of edible broiler skin fat obtained from five rendering methods. *J. Food Engin.*, 55: 263-269.
- Sukhija, P.S. and D.L. Palmquist, 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. *J. Agric. Food Chem.*, 36, 1202–1206.
- Sunilkumar, G., L.M. Campbell, L. Puckhaber, R.D. Stipanovic and K.S. Rathore, 2006. Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*, 103:18054-18059.
- Vroh-Bi, I., J.P. Baudoin, B. Hau and G. Mergeai, 1999. Development of high-gossypol cotton plants with low-gossypol seeds using tri-species bridge crosses and in vitro culture of seed embryos. *Euphytica*, 106: 243-251.
- Watkins, B.A., 1991. Importance of essential fatty acids and their derivatives in poultry. *J. Nutr.*, 121: 1475-1485.

- Willard, S.T., D.A. Neuendorf, A.W. Lewis and R.D. Randel, 1995. Effect of free gossypol in the diet of pregnant and postpartum brahman cows on calf development and cow performance. *J. Anim. Sci.*, 73: 496 – 507.
- Yo, T., 1991. Utilisation directe des graines de coton décortiquées de variétés sans gossypol dans l'alimentation des poulets de chair en Côte-d'Ivoire. *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*, 44: 355-360.

**Table 1.** Chemical composition and amino acid profile of the cottonseed kernels used in the experiment

	Levels (g/kg)
Dry matter	944.5
Ash	117.8
Crude protein	358.9
Ether extract	368.2
Crude fiber	84.0
Asp	32.3
Ala	13.2
Arg	39.8
Cys-Cys	5.7
Glu	64.6
Gly	14.5
His	10.9
Ile	11.5
Leu	21.3
Lys	16.8
Met	5.2
Phe	19.2
Pro	12.9
Ser	15.8
Thr	11.0
Tyr	10.2
Val	16.4

**Table 2.** Composition of the diets offered to control groups (CG) and of the experimental diets in which groundnut cake was substituted by cottonseed kernels at levels of 25 (G25), 50 (G50) or 75 (G75)%.

	CG	G25	G50	G75	CG	G25	G50	G75
	Starting period				Growing period			
<i>Ingredients (g/kg)</i>								
Corn	200.0	250.0	230.0	200.0	420.0	420.0	300.0	270.0
Millet	365.0	325.0	350.0	385.0	210.0	215.0	355.0	390.0
Groundnut cake	250.0	187.5	125.0	62.5	250.0	187.5	125.0	62.5
Cottonseed kernel	0.0	62.5	125.0	187.5	0.0	62.5	125.0	187.5
Fish by-product meal	90.0	100.0	105.0	110.0	27.5	32.5	32.5	37.5
Tricalcium phosphate	12.4	3.0	0.0	0.0	15.0	15.0	5.0	0.0
Groundnut oil	50.0	40.0	30.0	20.0	50.0	40.0	30.0	20.0
L-Lysine HCl	1.6	1.5	2.0	2.0	1.5	1.5	1.5	1.5
DL-Methionine	1.0	0.5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vitamin-mineral premix <sup>1</sup>	30.0	30.0	32.0	32.0	25.0	25.0	25.0	30.0
<i>Chemical composition (g/kg)</i>								
Dry matter	933.0	934.0	938.0	938.0	937.0	929.0	933.0	932.0
Crude protein	205.0	216.0	222.0	210.0	195.0	197.0	184.0	182.0
Ether extract	121.7	113.9	118.3	123.7	99.8	100.0	112.7	113.9
Crude fiber	25.0	22.0	27.0	28.0	27.0	30.0	31.0	27.0
Ash	63.0	84.0	81.0	81.0	76.0	66.0	67.0	68.0
Ca	11.0	13.0	12.0	12.0	10.0	8.0	9.0	12.0
Total P	9.0	9.0	9.0	10.0	8.0	7.0	8.0	8.0
K	6.0	6.0	6.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Na	1.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Mg	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
<i>Others</i>								
ME, Kcal/kg	3598	3518	3540	3559	3463	3418	3496	3521
Total gossypol, mg/kg	0.0	29.1	49.5	85.4	0.0	23.4	46.4	67.1
Free gossypol, mg/kg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

<sup>1</sup>Macro-vetamix 5% (Vetagropharma technology) which provided (per kg of premix): Ca, 280 g; P, 37g; NaCl, 33g; Mn, 1.4 mg; Zn, 1.2 mg; Fe, 1.4 mg; Cu 0.2 mg; I, 8 mg; Co, 2 mg; Se, 2.8 mg; vitamin A, 250,000 IU; vitamin D<sub>3</sub>, 50,000 IU; vitamin E, 290 mg; vitamin B1, 55 mg; vitamin B2, 100 mg; vitamin B3, 480 mg; vitamin B5, 195 mg; vitamin B6, 55 mg; vitamin B12, 600 µg; vitamin K3, 50 mg; folic acid vitamin, 27 mg; vitamin C, 175 mg; H biotin vitamin, 600 µg; Lysine HCl, 5%; Methionine, 3%

**Table 3.** Fatty acid profile of feeds offered to broilers that received either a control diet (CG) or diets in which groundnut cake was substituted by cottonseed kernels at levels of 25 (G25), 50 (G50) or 75 (G75)%

	Starting diet				Growing diet			
	CG	G25	G50	G75	CG	G25	G50	G75
<i>Fatty acids (g/kg fat)</i>								
C14 :0	7	8	9	10	5	6	5	6
C16 :0	132	136	140	152	124	132	124	131
C18 :0	43	39	36	34	34	30	33	31
C20 :0	10	8	6	5	9	6	8	6
C16:1n7	8	10	11	12	6	7	5	7
C18:1n9/7	490	460	397	337	470	346	375	319
C20:1n9	9	7	5	4	7	4	5	4
C18:2n6	282	318	382	434	329	457	433	485
C20:4n6	5	4	3	3	5	3	3	2
C18:3n3	11	8	8	7	8	7	9	8
C20:5n3	3	3	3	3	3	1	0	1
SFA	191	191	191	201	172	175	169	174
MUFA	507	476	412	352	483	356	386	329
W6	287	321	385	437	334	461	435	487
W3	14	11	11	10	11	8	10	9
PUFA	301	333	396	446	345	469	445	496

**Table 4.** Animal performance of Cobb 500 broilers that received either a control diet (CG) or diets in which groundnut cake was substituted by cottonseed kernels at levels of 25 (G25), 50 (G50) or 75 (G75)%

	CG	G25	G50	G75	SEM	P>F
Initial weight, g	43	43	41	42	0.43	0.426
Weight at d22, g	353a	415b	550c	593d	10.4	0.001
Final weight, g	1063a	1262b	1635c	1847d	42.3	0.001
ADG starting period, g/d	14.8	17.7	24.2	26.2	-	-
ADG growing period, g/d	33.8	40.3	51.7	59.7	-	-
Feed intake starting period, g	24.9	28.9	41.1	42.4	-	-
Feed intake growing period, g	88.7	95.9	125.0	129.8	-	-
Feed conversion ratio starting period	1.54	1.39	1.64	1.53	-	-
Feed conversion ratio growing period	2.72	2.60	2.67	2.39	-	-

Values on the same line with no common letter are significantly different at  $P < 0.05$ .

**Table 5.** Nutrients digestibility (%) of Cobb 500 broilers that received either a control diet (CG) or diets in which groundnut cake was substituted by cottonseed kernels at levels of 25 (G25), 50 (G50) or 75 (G75)%

Items	CG	G25	G50	G75	SEM	P>F
<i>Starting diets</i>						
Dry matter	65.14	64.27	65.45	65.59	1.9	0.96
Organic matter	72.47	71.54	73.03	73.48	1.6	0.84
Fat matter	67.37	66.98	68.80	69.43	1.7	0.73
<i>Growing diets</i>						
Dry matter	66.12	66.33	67.75	68.80	2.0	0.78
Organic matter	72.58	72.74	74.04	74.21	1.8	0.88
Fat matter	70.68	70.51	69.07	71.40	1.8	0.82

The values on the same line with no common letter are significantly different at  $P < 0.05$

**Table 6.** Animal performance and carcass characteristics of broilers that received either a control diet (CG) or diets in which groundnut cake was substituted by cottonseed kernels at levels of 25 (G25), 50 (G50) or 75 (G75)%

	CG	G25	G50	G75	SEM	P>F
<i>Weights, g</i>						
Live weight	1040a	1435b	1672c	1930d	139.4	0.062
Carcass weight	717a	1006b	1229c	1379d	113.4	0.041
Breast	245a	363b	450c	560d	28.8	0.001
Thigh	337a	435b	495b	573c	42.0	0.424
Wing	113a	157bc	172c	208d	11.6	0.059
Liver	53	52	54	52	4.6	0.988
Heart	12	12	12	13	1.7	0.948
Gizzard	41	49	41	47	5.8	0.690
<i>Proportions (%)</i>						
Dressing	68.90a	70.10bc	73.50c	71.45b	0.9	0.012
Breast/carcass	34.17a	36.08a	36.61ab	40.61b	1.1	0.016
Thigh/carcass	47.00	43.24	40.28	41.55	1.6	0.560
Wing/carcass	15.76	15.61	13.99	15.08	0.5	0.762

On a line, means with no common letter are significantly different at  $P > 0.05$

**Table 7.** Ether extract and fatty acids levels (mg/kg DM) in muscle of broilers that received either a control diet (CG) or diets in which groundnut cake was substituted by cottonseed kernels at levels of 25 (G25), 50 (G50) or 75 (G75)%

	CG	G25	G50	G75	P>F	SEM
<i>Ether extract (g/kg DM)</i>	62.7	72.4	66.9	77.2	0.963	21.0
<i>Fatty acids (mg/100g DM)</i>						
C14 :0	29.7a	26.3a	47.7b	49.0b	0.005	4.5
C16 :0	1234.6a	1190.1a	1715.0b	1827.6b	0.001	105.7
C18 :0	626.0a	652.5a	911.0b	963.9b	0.007	69.3
C16:1 n-9	136.8	87.8	88.4	81.1	0.499	27.9
C18:1 n-9	3223.3a	3251.1a	2065.3b	1847.8b	0.002	247.8
C18:2 n-6	1043.2a	1083.7a	1452.0b	1524.3b	0.015	108.4
C18:3 n-6	5.3a	5.1a	7.0ab	7.9a	0.048	0.7
C20:3 n-6	27.1	28.0	29.6	26.1	0.624	1.8
C20:4 n-6	151.0	149.8	135.3	141.7	0.726	10.5
C22:4 n-6	32.6	31.3	31.9	28.4	0.661	2.5
C18:3 n-3	18.7a	19.3a	24.2b	23.4b	0.004	1.0
C20:5 n-3	7.2	5.4	7.0	5.8	0.469	0.9
C22:5 n-3	31.7	31.2	34.3	28.2	0.510	2.6
C22:6 n-3	27.7	31.2	28.1	30.1	0.892	3.6
Other SFA	8.8a	10.3a	11.9ab	14.3b	0.079	1.4
Other MUFA	25.7a	24.6a	28.7b	25.1a	0.019	0.8
Other PUFA	26.1	27.4	33.9	27.5	0.193	2.4
SFA	1910.5a	1890.9a	2701.2b	2869.5b	0.002	177.8
MUFA	3385.8a	3363.5a	2182.5b	1954.0b	0.003	267.6
Total n-6	1278.0a	1319.1a	1683.5b	1751.8b	0.016	108.1
Total n-3	92.5	93.3	99.6	91.5	0.875	7.0
PUFA	1370.6a	1412.4a	1783.1b	1843.3b	0.015	107.7
MUFA/SFA	1.8a	1.6a	0.8b	0.7b	<.0001	0.10
PUFA/SFA	0.8	0.8	0.7	0.7	0.360	0.04
PUFA/MUFA	0.4a	0.5a	0.9b	1.0b	<.0001	0.05
UFA/SFA	2.6a	2.4a	1.5b	1.3b	<.0001	0.11
n-6/n-3	13.3a	14.2a	16.1a	17.6b	0.119	1.2

On a line, means with no common letter are significantly different at P > 0.05



**Table 8.** Fatty acids proportions in the subcutaneous fat and muscles fat of broilers that received either a control diet (CG) or diets in which groundnut cake was substituted by cottonseed kernels at levels of 25 (G25), 50 (G50) or 75 (G75)%

Fatty acid (% fat)	Sub-cutaneous fat				Meat fat				P>F			SEM
	CG	G25	G50	G75	CG	G25	G50	G75	Loc.	Group	Inter.	
C14:0	0.65a	0.66ab	0.77b	0.8b	0.39a	0.40a	0.66b	0.67b	0.001	0.001	0.164	0.041
C16:0	22.91a	23.94a	26.73b	27.32b	17.65a	18.34a	25.30b	26.86b	0.001	0.001	0.002	0.721
C18:0	8.85a	10.47a	12.5b	13.43b	9.79a	10.45a	14.07b	14.49b	0.057	0.001	0.643	0.624
C16:1 n-9	2.94	2.01	1.67	1.42	1.54	1.12	1.13	1.15	0.017	0.143	0.600	0.426
C18:1 n-9	40.89a	37.57ab	33.06ab	30.66b	47.94a	46.47a	29.06b	28.1b	0.070	0.001	0.001	1.740
C18:2 n-6	21.7	23.26	23.39	24.49	15.98a	16.85a	22.43b	22.08b	<0.001	0.002	0.073	1.148
C18:3 n-6	0.13	0.13	0.13	0.14	0.07a	0.08ab	0.11b	0.10ab	<0.001	0.150	0.546	0.011
C20:3 n-6	0.07	0.08	0.07	0.08	0.50	0.47	0.60	0.50	<0.001	0.861	0.820	0.076
C20:4 n-6	0.08	0.09	0.07	0.09	2.83	2.69	2.81	2.70	<0.001	0.997	0.996	0.399
C22 :4 n-6	0.02	0.03	0.02	0.02	0.61	0.56	0.63	0.55	<0.001	0.951	0.925	0.080
C18:3 n-3	0.56a	0.53a	0.51ab	0.47b	0.26a	0.27a	0.35b	0.32ab	<0.001	0.379	0.002	0.021
C20:5 n-3	0.02	0.02	0.02	0.01	0.13	0.09	0.15	0.12	<0.001	0.524	0.646	0.024
C22:5 n-3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.60	0.54	0.69	0.53	<0.001	0.804	0.809	0.091
C22:6 n-3	0.01	0.01	0.02	0.01	0.54	0.52	0.6	0.57	<0.001	0.967	0.971	0.085
Other SFA	0.43	0.49	0.41	0.47	0.32a	0.33ab	0.41b	0.42b	<0.001	0.148	0.065	0.030
Other mufa	0.59a	0.55a	0.46b	0.42b	0.37	0.36	0.40	0.36	<0.001	0.015	0.003	0.024
Other pufa	0.12	0.14	0.15	0.16	0.48	0.47	0.60	0.50	<0.001	0.640	0.730	0.059
SFA	32.84a	35.56a	40.41b	42.02b	28.14a	29.52a	40.43b	42.44b	<0.001	0.005	0.021	1.179
MUFA	44.41a	40.13ab	35.2b	32.5b	49.85a	47.95a	30.59b	29.62b	0.338	<0.001	0.012	2.064
Total n-6	22.12	23.73	23.82	24.97	20.37a	21.01a	27.08b	26.35b	0.971	<0.007	0.146	1.404
Total n-3	0.62	0.58	0.57	0.51	1.65	1.53	1.89	1.6	<0.001	0.782	0.785	0.194
PUFA	22.75	24.31	24.39	25.48	22.01a	22.54a	28.97b	27.95b	0.306	0.013	0.161	1.520
MUFA/SFA	1.37a	1.15a	0.89b	0.78b	1.79a	1.65a	0.76b	0.72b	<0.023	<0.001	0.008	0.025
PUFA/SFA	0.69	0.69	0.61	0.61	0.78	0.76	0.72	0.66	0.016	0.102	0.936	0.045
PUFA/MUFA	0.53a	0.62ab	0.70ab	0.79b	0.45a	0.48a	0.96b	0.96b	0.289	<0.001	0.017	0.011
UFA/SFA	2.06a	1.83a	1.49b	1.38b	2.57a	2.42a	1.48b	1.36b	0.002	<0.001	<0.001	0.025
n-6/n-3	35.46a	40.52ab	41.82ab	49.01b	12.68	14.44	15.95	18.72	<0.001	<0.001	0.347	1.975

On a line and in a location, means with no common letter are significantly different at P > 0.05

## Effets de la substitution totale du tourteau d'arachide par la fève de coton Glandless sur les performances zootechniques de poulets de chair au Sénégal

Article 4 – Soumis pour publication à la *Rev. Elev. Méd. Vét. Pays Trop.*

Diaw M.T., Dieng A., Mergeai G., Camara A., Hornick J. L.

### **Résumé:**

Les performances de poulets de chair recevant un aliment dans lequel le tourteau d'arachide a été totalement substitué par la fève de coton glandless (FCG) ont été comparées à celles d'animaux recevant un aliment témoin expérimental (Tém.\_E.), un aliment de commerce (Tém.\_C.) et une ration de formulation très simple composée uniquement de maïs, de FCG et de concentré minéral et vitaminé. Dès le démarrage, les animaux Tém.\_C. et FCG ont présenté les meilleures croissances. Après 43 jours d'élevage, les différences de poids vifs ont été très importantes entre les groupes, essentiellement suite aux différences de consommation alimentaire, de telle sorte que les meilleures vitesses de croissance n'ont pas été nécessairement liées à de meilleurs indices de consommation. De faibles performances pondérales, de faibles ingestions et des mortalités importantes ont été observées avec la ration simplifiée. L'efficacité alimentaire élevée de cette ration laisse cependant envisager son utilisation en aviculture traditionnelle où la croissance accélérée n'est pas une priorité.

**Mots clés :** Tourteau d'arachide, Fève de coton, Glandless, Poulets, Alimentation, Performances

### **Summary:**

*Effect of groundnut cake total substitution by glandless cottonseed kernels on broilers production in Senegal*

The performances of broilers receiving diet in which the groundnut cake has been completely substituted by glandless cottonseed kernels (FCG) have been compared to those of animals receiving an experimental control diet (Tém.\_E.), a commercial diet (Tém.\_C.) and a very simple diet containing only corn, FCG and a premix of minerals and vitamins. From the starting period, the Tém.\_C. and FCG animals presented the higher growths. After 43 days of breeding, the body weight differences between the groups were very important, essentially due to differences in feed intake, so that the best growth rates were not necessarily associated to better of feed conversion ratios. Weak body weights, weak intakes and higher mortality levels were observed with the simple formulated diet, but associated with low feed conversion ratio so that its use for rural poultry, where accelerated growth is not a priority, could be recommended.

**Keys words:** Groundnut cake, Cotton seed kernels, Glandless, Broilers, Feed, Performances

## 1. Introduction

Le cotonnier est la première plante textile au monde et l'espèce *Gossypium hirsutum* assure 95% de la production mondiale de coton (28). Cette dernière atteint actuellement 27 millions de tonnes (48). L'égrenage du coton-graine donne 40% de fibre et 60% de graines (8) constituées, d'amande (50%), de coque (40 à 45%) et de linter ou fin duvet résiduel recouvrant la graine après arrachage des fibres (42).

Le coton, en tant que matière première oléoprotéagineuse, est méconnu. Et pourtant, bien que la trituration des graines et le raffinage de l'huile brute soient des opérations délicates, l'huile de coton arrive, avec 4,94 millions de tonnes de production, au 5ème rang mondial de la consommation d'huile alimentaire devant l'huile de palmiste (4%) et l'huile d'arachide (3%). Le tourteau résiduel constitue une source importante de protéine qui le place au 2ème rang mondial derrière le soja (9) avec une teneur moyenne comprise entre 22,2 (44) et 30,3% (3) pour le tourteau non décortiqué et entre 29,7 (45) et 56,0% (41) pour le tourteau décortiqué.

Cependant son incorporation dans les rations pour monogastriques, en particulier les volatiles, est limitée par la présence d'un composé polyphénolique, le gossypol, qui, sous sa forme libre (GL), diminue la qualité des protéines (12, 18, 2), par sa teneur en fibre (14, 34) et par la présence d'acides gras cyclopropénoïques (acides malvalique et sterculique) qui peuvent constituer de puissants inhibiteurs de l'activité enzymatique telle que celle de la  $\Delta 9$  désaturase intervenant dans la transformation des acides gras (43).

En nutrition animale, plusieurs travaux ont été menés pour détoxifier le GL et améliorer la valeur nutritive des rations chez la volaille. Ils se basent essentiellement sur l'apport de fer (12, 35, 36, 5) ou de lysine (51, 13, 56, 18, 2), sur l'extraction de l'huile par solvant lors de la trituration (40, 39), sur la supplémentation en acides aminés (26) et sur le développement de variétés de cotonniers exemptes de glandes à gossypol ou variétés « glandless » (54, 28, 4).

Cependant, la vulgarisation de tels cotons a connu des difficultés (53) liées à la protection phytosanitaire des cultures dans la mesure où ces glandes protègent la plante contre les ravageurs. Une solution à ce problème serait donc la création de variétés de cotonniers qui présentent des glandes à gossypol sur toute leur partie aérienne, excepté la graine. Aujourd'hui, les gènes responsables d'un tel caractère ont été identifiés pour leurs intégrations dans les variétés commerciales (4).

C'est dans cette optique que des travaux de substitutions partielles (jusqu'à 75%) du tourteau d'arachide par la fève de coton « glandless » ont été effectués dans le passé (11). Les résultats obtenus ont montré une amélioration du poids des animaux proportionnellement au niveau d'incorporation de la fève de coton, laissant espérer des performances encore meilleures en cas de substitution totale.

Cette étude cherche donc à déterminer les performances pondérales permises par une substitution totale du tourteau d'arachide (couramment utilisé dans les provendes au Sénégal) par la fève de coton « glandless », mais également à évaluer les effets induits par une ration simplifiée qui serait davantage à la portée des éleveurs amateurs.

## **2. Matériels et méthodes**

### **2.1. Production de la fève de coton**

Une production de coton a été entreprise à partir de graines de variétés exemptes de glandes à gossypol (GL7) au niveau de la station expérimentale de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agriculture (ENSA) de Thiès (Sénégal). Le coton graine produit a été égrené au niveau de la SODEFITEX (Société de Développement des Fibres Textiles) du Sénégal. Le tamisage du produit obtenu après passage au moulin muni d'un tamis de maille 0,7 cm a donné de la fève de coton dont la valeur nutritionnelle a été rapportée par Diaw (11).

### **2.2. Conduite des animaux**

Les travaux ont été menés au Centre d'Application des Techniques d'Elevage (CATE) de l'ENSA. Le site est sous l'influence du climat soudano-sahélien avec une alternance de saisons pluvieuse (juillet – septembre/octobre) et sèche (novembre – juin).

Durant l'essai, qui a coïncidé avec la saison pluvieuse, la température de même que l'humidité, ont été quotidiennement déterminées dans le poulailler avec des mesures à 7h00 et en mi-journée (13h00). Une température moyenne de 31°C a été enregistrée avec un minima de 19°C et un maxima de 35°C, respectivement. L'humidité relative moyenne correspondante de l'air a été de 70% avec des maxima de 89% et des minima de 45%.

L'essai a porté sur 200 sujets d'un jour, non-sexés, et de souche Cobb 500, réputée à croissance rapide (47). Les poussins ont été répartis, dès leur réception, en quatre lots de 50 animaux, divisés chacun en deux répétitions. Un lot témoin (Témoin expérimental, Tém.\_E.) a reçu un aliment comportant 25% de tourteau d'arachide. Un autre groupe a été nourri avec le même aliment que le Tém.\_E. mais où le tourteau d'arachide a été totalement remplacé par la fève de coton « glandless » (le lot FCG). Un 3ème groupe a reçu un aliment de formule très simple pouvant être vulgarisée auprès des petits éleveurs (Aliment simplifié, A.\_simplif.). Enfin, un dernier groupe a reçu un aliment de référence homologué de commerce (Témoin commercial, Tém.\_C.).

Une formule démarrage a été distribuée au niveau de chaque lot du premier au 21ème jour. Du 22ème jour jusqu'à la fin de l'essai (43ème jour), les animaux ont reçu un aliment croissance. Les aliments ont été formulés pour présenter des teneurs iso-protéiques et iso-énergétiques. Les niveaux d'extrait

éthéré (EE) ont été ajustés à ceux du lot FCG par apport d'huile d'arachide (tableau I). Les teneurs en nutriment ont été calculées sur la base des recommandations de la « National Research Council » (30) avec un rapport énergie/protéine moyen de 135 au démarrage et 159 en croissance et environ 3100 kcal d'énergie métabolisable (EM) par kilogramme d'aliment. Durant toute la période expérimentale, la distribution de l'eau et des aliments a été faite *ad libitum*.

Les poids vifs individuels ont été déterminés de façon hebdomadaire jusqu'à la fin de l'essai. Des mesures quotidiennes de la prise alimentaire par lot et des mortalités ont également été effectuées.

Le programme prophylactique appliqué durant la période expérimentale a été la même que celui en vigueur au Sénégal dans la zone expérimentale.

### 2.3. Analyses chimiques et calculs

La détermination des teneurs en matière sèche (MS), cendre (Ce), cellulose brute (CB) et extrait éthéré (EE) a été faite conformément aux méthodes de l'AOAC (1). Les protéines brutes (PB) ont été déterminées par la méthode Kjeldahl. L'énergie métabolisable (EM) a été évaluée par une équation de l'INRA (24) où l'EM vraie (Mj/kg.MS) =  $(3951 + 54,4.EE - 88,7.CB - 40,8.Ce) * 0,004184$ , les teneurs en nutriments étant exprimées en pourcentage (%) de la MS.

### 2.4. Analyse des données

Les données non individualisables (Gain quotidien, consommation alimentaire, indice de consommation et mortalité) ont fait l'objet d'une simple statistique descriptive. Pour les poids vifs, les données ont été individuelles et analysées selon la procédure « General Linear Model » (Proc GLM) du SAS (37). Le modèle utilisé inclue l'effet du lot, de la répétition et de leur interaction (lot\*répétition) et a été le suivant :  $Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$

Où

	$\mu$ : moyenne général
	$\alpha_i$ : effet du lot i
	$\beta_j$ : effet de la répétition j
	$\alpha\beta_{ij}$ = effet de l'interaction lot*répétition
	$\varepsilon_{ijk}$ = écart résiduel aléatoire

### 3. Résultats

L'évolution du poids vif des animaux au niveau de chaque lot est donné par la figure 1. Le poids moyen à la fin des phases démarrage et croissance a été significativement affecté ( $p < 0,001$ ) par le type d'aliment distribué (tableau II). L'effet de la répétition n'a pas été significatif ( $p = 0,65$ ).

L'évolution du poids des animaux du lot Tém.\_C. a suivi une allure exponentielle alors que dans les autres groupes, cette croissance a été sigmoïdale (figure 1). Les animaux Tém.\_C. et FCG ont présenté les meilleures performances et ceci dès la fin de la 2<sup>ème</sup> semaine (J15) où, avec des poids moyens respectifs de 257 g et 225 g ( $p = 0,23$ ), ils se sont distingués significativement des animaux Tém.\_E. et A.\_simplif. ( $p < 0,001$ ). Durant toute la phase démarrage, aucune différence significative ( $p = 0,29$ ) n'a été observée entre les animaux recevant l'aliment commercial et le lot FCG. Après trois semaines d'essai, leurs poids moyens respectifs étaient de 461 et 489 g (tableau II).

Les différences observées se sont accentuées en deuxième période mais le groupe Tém.\_C. s'est nettement démarqué des autres groupes avec, à la fin de l'essai, un poids vif moyen de 1732 g contre 435 g pour les animaux A.\_simplif.. Les sujets des lots FCG et Tém.\_E. ont présenté des performances intermédiaires mais différentes ( $p < 0,001$ ), et pesaient respectivement 1103 et 916 g.

Le gain quotidien moyen (GQM) maximal durant la phase démarrage a été enregistré chez les animaux du lot FCG qui a réalisé une croissance de 23,9 g/j, très proche de celle du groupe Tém.\_C. (23,1 g/j) tandis que le groupe Tém.\_E. a présenté des valeurs intermédiaires (15,7 g/j) et la ration simplifiée n'a permis de réaliser que 6,4 g/j. Pendant la phase de croissance les meilleurs GQM (61,1 g) ont été observés chez les animaux ayant reçu l'aliment commercial. Comme au démarrage, les poussins du groupe A.\_simplif. ont présenté les plus faibles performances (12,7 g/j) là où les groupes FCG et Tém.\_E. ont obtenu des valeurs intermédiaires avec des gains moyens de 29,2 et 28,2 g/j.

La prise alimentaire a été plus forte, durant la phase de démarrage, chez les animaux du groupe FCG avec 800 g par sujet, contre 648 et 528 g pour respectivement les poussins des lots Tém.\_C. et Tém.\_E. Une faible ingestion a été observée chez les sujets recevant l'aliment simplifié avec 303 g par animal, soit 15,2 g/j. Pendant la phase de croissance, l'ingestion a été plus importante chez le Tém.\_C. (2833 g par sujet, ou 142 g/j) dépassant largement celle des volailles des groupes FCG (2174 g par sujet ou 109 g/j) et Tém.\_E. (1943 g par sujet ou 97 g/j). La prise alimentaire de la ration simplifiée a été, durant cette phase de 506 g par sujet, soit 25,3 g/j (tableau II).

Finalement, l'efficacité alimentaire des différentes rations a révélé, pour la phase démarrage, un indice de consommation plus favorable dans le groupe Tém.\_C. (1,54) tandis que les groupes FCG et Tém.\_E. ont présenté respectivement des valeurs de 1,77 et 1,85. La ration simplifiée a donné un IC de

2,34 pour cette phase. En revanche, cet aliment s'est révélé plus efficace durant la phase de croissance où l'efficience a été de 1,89 contre 2,21 pour l'aliment commercial et 3,28 et 3,54 pour respectivement les aliments du Tém.\_E. et de la FCG.

De fortes mortalités (tableau II) ont été enregistrées durant l'expérimentation chez les animaux recevant la ration simplifiée (24% durant le démarrage contre 2% pour les animaux Tém\_C). Dans ce groupe, les pertes se sont maintenues jusqu'à la réduction de l'effectif de presque de moitié (46%) à la fin de l'essai (figure 2). Chez les animaux du groupe FCG, les pertes enregistrées n'ont présenté aucune différence avec celles des animaux recevant la ration commerciale (2% en démarrage et respectivement 14 et 12% durant tout l'essai). Des mortalités importantes ont été observées chez le témoin expérimental (jusqu'à 26% à la fin de l'essai).

#### 4. Discussion

L'expérimentation a montré une amélioration du poids vif des animaux lors du remplacement total du tourteau d'arachide par la fève de coton « glandless » (FCG). Des résultats similaires ont été rapportés dans la littérature avec une augmentation proportionnelle des poids des animaux jusqu'à 75% de substitution du tourteau d'arachide par la fève de coton « glandless » (11). En remplaçant le tourteau d'arachide par le tourteau de coton décortiqué et déshuilé au solvant (TCDDS), avec des niveaux de GL très faibles (72 à 289 mg/kg d'aliment), certains auteurs ont également observé, sur une période de 4 semaines, une amélioration des poids vifs des poulets (38). L'incorporation de TCDDS (400 mg de GL par kg d'aliment) à raison de 30% dans les rations pour poulet a donné des performances significativement meilleures qu'avec le tourteau d'arachide (44) comme principal aliment protéique dans la ration démarrage (750 contre 691 g). L'utilisation de la fève de coton « glandless », en tant que telle, comme substitut total du tourteau d'arachide, n'a jamais été décrite auparavant et indique l'excellente valeur alimentaire de la fève de coton « glandless » en production de poulets.

Les performances réalisées par les animaux ont été faibles, surtout pour les volailles recevant la ration simplifiée où, après 43 jours d'élevage, le poids vif n'a été que de 435 g contre 1732 g avec l'aliment commercial. Cependant, par rapport aux résultats de Reddy et Eshwaraiiah (38), les poids vifs moyens enregistrés après 4 semaines d'élevage ont été satisfaisants chez les animaux recevant un aliment dans lequel le tourteau d'arachide a été totalement substitué par la fève de coton et chez ceux recevant l'aliment commercial (respectivement 752 et 895 g contre 618 g). A cet âge, certains auteurs (44) ont enregistré des poids similaires avec 750 g à 30% d'incorporation du TCDDS (400 mg de GL par kg d'aliment) en remplacement du tourteau d'arachide. La substitution totale du tourteau de soja par le tourteau de coton issu de divers procédés de fabrication, et donc avec différentes teneurs en GL, a donné des poids moyens compris entre 722 et 786 g avec respectivement des rations dosant 504 et 92 µg de GL par kg d'aliment (18). Les auteurs ont montré que les performances des animaux

dépendaient non seulement de la teneur en GL dans la ration mais également des divers traitements de la graine de coton qui influent en effet beaucoup sur la valeur nutritive du tourteau utilisé et donc de l'aliment (29, 55, 22).

L'extrapolation des résultats de Diaw (11), sur des essais conduits dans des conditions similaires à la présente étude, a permis d'estimer les performances de poulets recevant une ration où le tourteau d'arachide serait substitué totalement par la FCG, à 1967 g après 45 jours d'élevage. Pourtant, les poids vifs enregistrés chez les animaux dans cet essai ont été de 1103 g après 43 jours d'élevage. En considérant des GQM de 29 g, le poids à 45 jours atteindrait au maximum 1161 g. Plusieurs hypothèses peuvent être évoquées pour expliquer ces différences. D'une part, par rapport aux essais rapportés par Diaw (11), la présente période expérimentale a coïncidé avec la saison des pluies où les températures et l'humidité ont été très élevées. D'autre part, de fortes variabilités peuvent exister quant à la qualité des aliments composant les rations.

Entre les groupes, tous les aliments avaient des valeurs nutritionnelles similaires et pourtant les performances réalisées avec l'aliment commercial ont été meilleures. Le témoin expérimental a toutefois présenté des performances en accord avec celles obtenues précédemment sur le site de l'étude (11). Ces faibles performances, en deçà de celles attendues avec le Cobb 500, pourraient s'expliquer par le fait que les matières premières composant les rations formulées ont été acquises dans le commerce où les conditions de conservation peuvent ne pas être optimales, entraînant l'oxydation éventuelle des lipides ou le développement de mycotoxines dans le tourteau d'arachide. En effet, les mauvaises conditions de conservation du tourteau d'arachide occasionnent le plus souvent un développement des aflatoxines (B1, B2, G1 et G2) dont la limite de toxicité chez la volaille se situe à 0,25 mg d'aflatoxine B1 (AB1) par kilogramme d'aliment (19). Czeglédi et Gutzwiller (7) ont également rapporté que la limite permise d'AB1 dans les provendes est, respectivement en Suisse et en France, de 0,030 et 0,050 mg par kilogramme d'aliment volaille. Étant donné que le dosage des aflatoxines n'a pas été effectué, cette hypothèse ne saurait être écartée dans la mesure où d'autres mycotoxines spécifiques au tourteau d'arachide pourraient également être à l'origine des effets négatifs sur les performances pondérales de ces animaux. Toutefois, les essais menés dans des conditions similaires et rapportés par Diaw (11) n'ont pas mis en évidence une teneur significative en aflatoxines dans les provendes de même type.

Plus vraisemblablement, les phénomènes d'oxydation des lipides du mélange pourraient être à l'origine des faibles performances des poulets Tém\_E. où une quantité importante d'huile a été apportée (4,5 et 2,7% dans respectivement les rations démarrage et croissance). En effet, il n'y avait pas d'antioxydant dans les provendes. L'oxydation éventuelle ne s'est probablement pas produite avec les fèves de coton car ces dernières sont très riches en vitamine E, qui a un pouvoir antioxydant, et d'autre part les lipides devraient être relativement protégés à l'intérieur des cellules de la fève.



Finalement, il n'est pas exclu que l'huile d'arachide, en soi, ait eu des conséquences négatives sur les animaux de ce lot. Il faut d'autre part signaler que les aliments expérimentaux étaient présentés sous forme de miettes tandis que l'aliment croissance Tém\_C. était présenté sous forme de granulés. Or, les meilleures performances ont été notées pendant la croissance, dans le groupe Tém\_C. L'aspect des aliments pourrait ainsi expliquer des différences de consommation (27) qui auraient alors influencé les performances pondérales. Cependant, Buldgen (6) ont montré que durant la phase de croissance, la granulation n'avait pas d'effet notable sur les performances des animaux.

Les GQM réalisés par les poussins recevant la ration simplifiée ont été très faibles en comparaison des autres lots. Cette ration présentait la particularité d'être constituée de maïs (70%), de fève de coton (25%) et de CMV (Macrovétamix 5%) comme supplément de vitamines et minéraux nécessaires à la couverture des besoins minimums des animaux. Selon Malcolm Reid (27), une ration optimale pour des poulets renferme une quarantaine de nutriments qui ne peuvent être obtenus qu'en incorporant au moins une dizaine d'aliments dans les mélanges. Cette recommandation n'a pu être respectée dans le cas de la formulation simplifiée. Toutefois, selon les calculs, l'apport d'un complexe minéralo-vitaminique, à raison de 5% de la ration, a couvert tous les besoins en nutriments des animaux. Le fait que cet aliment n'ait permis que des GQM de l'ordre 10 g/j doit donc être attribué à une très faible appétibilité.

Cette ration a toutefois le mérite d'être facile à vulgariser en milieu rural pour améliorer les conditions d'élevage avicole à l'aide d'un aliment de bonne qualité. Il serait donc intéressant d'étudier les croissances obtenues chez la volaille traditionnelle caractérisée par un comportement de divagation. Les performances réalisées chez des volailles de ce type recevant un complément protéique et énergétique devraient en effet être significativement améliorées par le fait que les animaux diversifient naturellement leur alimentation à partir de ressources naturelles (10). Plusieurs auteurs (20, 16, 49) ont rapporté des performances d'environ 1000 g pour des poulets traditionnels de 10 semaines d'âge. La complémentation alimentaire en divagation est surtout énergétique et complétée avec de sources protéiques animales telles que les vers de terre et les insectes (32). La faible productivité observée par la plupart des auteurs est associée à l'absence de l'amélioration génétique de la poule locale (15, 31). Cependant, une modification du système de complémentation pourrait aider à rehausser les performances et par conséquent le niveau de revenus générés (46, 32). Celle-ci pourrait être particulièrement le cas en zone cotonnière où la formule mériterait d'être approfondie.

Dans cette expérience, le niveau d'ingestion a été corrélé aux performances de croissance. Ainsi, l'ingestion a été plus élevée chez les animaux recevant l'aliment commercial et la fève de coton glandless en remplacement du tourteau d'arachide. Une faible prise alimentaire a été observée chez les animaux du Tém\_E. et ceux du groupe A\_simplif. Ces résultats, à eux seuls, expliquent les faibles performances pondérales des animaux. Comme indiqué précédemment, la présence de substances

indésirables dans le tourteau ou l'huile d'arachide peut rendre compte de ces faibles consommations dans le groupe témoin ; chez ceux recevant la ration simplifiée le faible nombre d'aliment composant le mélange pourrait expliquer cette faible ingestion.

Les croissances plus importantes observées chez les animaux recevant la fève de coton glandless en comparaison à celles du témoin expérimental ont été également liées à une ingestion alimentaire plus importantes (+ 13,63 et + 11,55 g respectivement au démarrage et en croissance). Ces plus fortes ingestions sont vraisemblablement expliquées par une appétence élevée des provendes liée à la fève de coton glandless. Ce phénomène avait déjà été observé par (11). Il semble donc que l'amande de coton exempte de gossypol stimule l'ingestion chez les animaux (25). Des résultats similaires ont été obtenus, par plusieurs auteurs, après détoxification du tourteau de coton (51, 50, 23, 21).

Les indices de consommation obtenus (1,53 à 2,34 en démarrage et 1,89 à 3,54 en croissance) ont été supérieurs à ceux rapportés par certains auteurs (21, 52) (de 1,43 à 1,59 et 1,41 à 1,94, respectivement en démarrage et en croissance). Il faut toutefois signaler que de telles performances sont extrêmes. Après 63 jours d'élevage, Ojewola et Ewa (33) ont obtenu des IC de 2,31 à 2,51. Il faut rappeler que chez le Cobb 500, des IC de 1,49 et 1,99 ont été obtenus en station avec respectivement des aliments démarrage et la croissance, mais dans des conditions idéales de température et d'humidité (47).

Il faut souligner la très bonne efficacité alimentaire de la ration simplifiée durant la phase de croissance (1,89). Ceci prouve les possibilités de son adoption en aviculture traditionnelle où la vitesse de croissance n'est pas nécessairement une priorité. La question de faible performance dépend donc du contexte dans lequel on l'étudie et, par rapport à l'objet même de cette ration simplifiée qui vise les éleveurs amateurs, elle devrait être intégrée dans la dimension socio-économique de l'aviculture traditionnelle. En effet, avec ce type d'élevage caractérisé surtout par la divagation, les animaux réalisent des croûts très faibles qui, au-delà de leurs potentiels génétiques seraient liés à une mauvaise valorisation des ressources locales.

Les mortalités enregistrées au démarrage dépassent la norme en vigueur au Sénégal, qui est de 5% (16). Elles sont vraisemblablement liées à l'ambiance climatique. Par contre en croissance, l'analyse de survie situe les mortalités principalement au niveau du groupe d'animaux recevant la ration simplifiée. Ce problème remet au premier plan le caractère sans doute trop simplifié de cet aliment qui, en entraînant une trop faible consommation, a probablement affaibli les animaux élevés en claustration totale. En conditions traditionnelles, toutefois, ce problème devrait être évité, les animaux diversifiant naturellement leur ration.

## 5. Conclusion

Les résultats obtenus montrent que la fève de coton glandless constitue un excellent aliment en production de poulets. Son utilisation offre, au Sénégal, la possibilité de couvrir le déficit de la demande des fabriques d'aliment en tourteau d'arachide consécutive à la crise de la filière arachidière et au développement de l'aviculture, mais également une amélioration de la nutrition en aviculture traditionnelle qui contribue au développement socio-économique en milieu rural, en particulier dans la zone cotonnière. La plus value engendrée sur les productions du cotonnier pourrait ainsi améliorer la rentabilité de la culture auprès des producteurs.

## Remerciements

Ce travail a été effectué dans le cadre du Projet Interuniversitaire Ciblé portant sur « l'amélioration de la rentabilité de la filière cotonnière sénégalaise » et financé par la Commission Universitaire au Développement (CUD) de la Belgique. Les auteurs adressent leurs remerciements à cette organisation.

## Références bibliographique

1. AOAC. Official methods of Analysis. 15th ed., 1990, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
2. AZMAN M. A., YILMAZ M., 2005. The growth performance of broiler chicks fed with diets containing CSM supplemented with Lysine. *Rev. Med. Vet.*, **156** (2): 104 – 106.
3. BALOGUN T. F., ADUKU A.O., DIM N.I., OLORUNJU S. A. A., 1990. Undecorticated cottonseed meal as a substitute for soybean meal in diets for weaner and growing-finishing pigs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **30**: 193 – 201.
4. BENBOUZA H., 2004. Introgression chez *Gossypium hirsutum* L. et cartographie au moyen de marqueurs microsatellites des gènes responsables du caractère « low-gossypol seed and high-gossypol plant ». Thèse Doct., FSAGx, Gembloux, Belgique, 266p.
5. BOLING S. D., EDWARDS H. M., EMMERT J. L., BIEHL R. R., BAKER D. H., 1998. Bioavailability of iron in cottonseed meal, ferric sulfate, and two ferrous sulfate by-products of the galvanizing industry. *Poult. Sci.*, **77**: 1388 – 1392.
6. BULDGEN A., 1996. Aviculture semi industrielle en climat subtropical. Presses Agron Gembloux, 122 p.

7. CZEGLEDI L., GUTZWILLER A., 2006. Mycotoxines dans les céréales et les aliments pour les animaux en suisse: revue de la littérature. *Rev Suisse Agric.*, **38** : 329 – 340.
8. DAGRIS, 2006. Chronique des huiles végétales et de leurs dérivés (n°1). [en ligne] (12/2006a)  
Adresse URL <http://www.dagris.fr/huilecoton.html> Consulté le 22/02/2007.
9. DAGRIS, 2006. La lettre de Dagris N°18: Coup de tonnerre à l'OMC. [en ligne] (08/2006b)  
Adresse URL <http://www.dagris.fr/images/lettre18.pdf> Consulté le 22/02/2007.
10. DAHOUDA M., TOLEBA S. S., YOUSAO A. K. I., HAMBUCKERS A., DANGOU-SAPOHO R., MARTIN G. B., FILLET M., HORNICK J. L., 2009. Nutrient digestibility of Mucuna (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) bean in guinea fowl (*Numida meleagris*, L): Effects of heat treatment and levels of incorporation in diets. *Br. Poult. Sci.*, **50** (5): 564 – 572.
11. DIAW M. T., DIENG A., MERGEAI G., YOUSOUF I., DOTREPPE O., HORNICK J. L., 2009. Effect of groundnut cake substitution b glandless cottonseed kernels on broilers production: Animal performance, Nutrient digestibility, Carcass characteristics and fatty acid composition of muscle and fat. *Int. J. Poult. Sci.*, (in press).
12. EL-BOUSHY A. R., RATERINK R., 1989. Replacement of soybean meal by cottonseed meal and peanut meal or both in low energy diets for broilers. *Poult. Sci.*, **68**: 799 – 804.
13. FERNANDEZ S. R., ZHANG Y, PARSON C. M., 1994. Effect of overheating on the nutritional quality of cottonseed meal. *Poult. Sci.*, **73**: 1563 – 1571.
14. FERNANDEZ S. R., ZHANG Y, PARSON C. M., 1995. Dietary formulation with cottonseed meal on a total amino-acid versus a digestible amino acid basis. *Poult. Sci.*, **74**: 1168 – 119.
15. FOSTA J-C., 2008. Caractérisation des populations de poules locales (*Gallus gallus*) au Cameroun. Thèse Doct., Agro Paris Tech, Paris, France, 301 p.
16. FOSTA J-C., MANJELI Y., 2001. Analyse comparée des performances de croissance en claustration des poussins de souche locale, d'une lignée Jupiter et de leurs croisements F1. *Ann. Sci. Agron. Bénin*, **2** (2) : 181 – 192.
17. GAMBOA D. A., CALHOUN M. C., KUHLMANN S. W., HAQ A. U., BAILEY C. A., 2001. Use of expander cottonseed meal in broiler diets formulated on a digestible Amino acid Basis. *Poult. Sci.*, **80**: 789 – 794.

18. GAMBOA D. A., CALHOUN M. C., KUHLMANN S. W., HAQ A. U., BAILEY C. A., 2001. Tissue distribution of gossypol Enantiomers in broilers fed various cottonseed meals. *Poult. Sci.*, **80**: 920 – 925.
19. GUERRE P., GALTIER P., BURGAT V., 1996. Les aflatoxicoses chez l'animal : des manifestations cliniques aux mécanismes d'action. *Rev. Med. Vet.*, **147** : 497 – 518.
20. GUÈYE E. F., 2000. The role of family poultry in poverty alleviation, food security and the promotion of gender equality in rural Africa. *Agric.*, **29** (2): 129 – 136.
21. HENRY M.H., PESTI G. M., BAKALLI R., LEE J., TOLEDO R. T., EITENMILLER R. R., PHILLIPS R. D., 2001. The performance of Broiler chicks fed diets containing extruded cottonseed meal with Lysine. *Poult. Sci.*, **80**: 762 – 768.
22. HRON R. J., WAN P. J., KEEK M. S., 1994. Ethanol vapor deactivation of gossypol in cottonseed meal. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, **73**: 1337 – 1339.
23. HUSBY F. M., KROENING G. H., 1971. Energy value of cottonseed meal for swine. *J. Anim. Sci.*, **33**: 592 – 603.
24. INSTITUT NATIONAL RECHERCHE AGRONOMIQUE, 1987. Nutrition of Laying Hens. In: Wiseman J (ed) Feeding of Non-ruminant Livestock. Butterworths & Co Ltd, London, 214p.
25. KETEKOU C. S., 1985. Intérêt biologique de l'huile de graine de coton In Le cotonnier sans gossypol, une nouvelle ressource alimentaire. *Abidjan, Côte-d'Ivoire: IDESSA*, 58-62.
26. LYMAN C. M., BALIGA B. P., SLAY M. W., 1959. Reactions of proteins with gossypol. *Arch. Biochem. Biophysical*, **84** : 486 – 497.
27. MALCOLM REID W., PESTI G. M., HARGIS B., MOORE R., VOHRA P., DEAN W. F., HAMMARLUND M. A., 2006. Raising healthy poultry. Christian Veterinary Mission, 138p.
28. MERGEAI G., 2003. Forty years of Genetic improvement of cotton through interspecific hybridisation at Gembloux Agriculture University : Achievement and prospects. In: International Cotton Advisory Comity, World cotton Research Conference-3, Cape Town, South Africa, 9 – 13 March 2003.

29. NAGALAKSHMI D., SAVARAN V., RAMA R., ARUN K. P., VADALI R. B. S., 2007. Cottonseed meal in poultry diets: A review. *J. Poult. Sci.*, **44**: 119 – 134.
30. NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1994. Nutrient Requirements of Poultry. *9th rev. ed. National Academy Press* Washnigton, DC.
31. NDEGWA J. M., TCHOMBE T., KABUAGE L. W., MUKKIBI-MUKA G., 1998. Improvment of indigenous poultry production in sub-saharan Africa. Paper presented at the international cours on intensive Poultry Production held at the Centre for International Agricultural Development Cooperation (CINADCO), Kibbutz Shefasyin, Israel.
32. NDEGWA J. M., MEAD R., NORRISH P., KIMANI C. W., WACHIRA A. M., 2001. Performance of indigenous Kenyan chickens fed diets containing different levels of protein during rearing. *Trop. Anim. Health. Prod.*, **33**: 441 – 448.
33. OJEWOLA G. S., EWA U. E., 2005. Response of growing broiler to varying dietary plant protein. *J. Poult. Sci.*, **4** : 765 – 771.
34. OJEWOLA G. S., UKACHUCKWU S. N., OKULONYE E. I., 2006. Cottonseed meal as substitute for soybean meal in broiler ration. *Poult. Sci.*, **5** : 360 – 364.
35. PANIGRAHI S., 1992. Effects of treating cottonseed meal with a solution of ferrous sulphate on laying hen performance and discolourations in eggs. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **38**: 89 – 103.
36. PANIGRAHI S., PLUMB V. E., 1996. Effects of dietary phosphorus of treating cottonseed meal with crystalline ferrous sulphate for the prevention of brown yolk discolouration. *Poult. Sci.*, **37**: 403 – 411.
37. SAS Institute, 2000. *Statistics Users Guide, Statistical Analysis System*, 5th edn, 8.2 version, Carry, NC: SAS Institute Inc.
38. REDDY R., ESHWARAIAH V., 1987. Studies on the utilization of decorticated deoiled, double toasted cottonseed extraction broiler starters. *Indian J. Poult. Sci.*, **22**: 194 – 196.
39. REID B. L., GALAVIZ-MORENO S., MAIORINO P. M., 1987. Evaluation of Isopropanol-extracted cottonseed meal for laying hens. *Poult. Sci.*, **66**: 82 – 89.

40. RHAMA E. H., NARASINGO RAO M. S., 1984. Gossypol removal and functional properties of protein produced by extraction of glanded cottonseed with different solvents. *J. Food Sci.*, **49**: 1057 – 1060.
41. RYAN J. R., KRATZER F.H., GRACE C. R., VOHRA P., 1986. Glandless cottonseed meal for laying and breeding hens and broiler chicks. *Poult. Sci.*, **65**: 945 – 955.
42. SAUVANT D., LOSSOUARN J., VERRIER E., 1994. Le coton et ses co-produits en alimentation animale. *Revue Alim. Anim.*, <http://www.inapg.inra.fr/dsa/iobdaa/tcoton.htm>, Consulté le 14 Mars 2007.
43. SCHMIDELY P., SAUVANT D., 2001. Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : Effets de l'apport de matière grasse ou d'aliment concentré. *INRA Prod. Anim.*, **14** (5) : 337 – 354.
44. SHARMA N. K., LODHI G. N., ICHHPONANI J. S., 1978. Comparative feeding value of expeller processed undecorticated and decorticated cottonseed cakes for growing chicks. *J. Agric. Sci.*, **91**: 531 – 541.
45. SHEKHAR REDDY P., SUDHAKAR REDDY P., SATYANARAYANA REDDY P. V. V., SRINIVASA RAO D., 1998. Influence of cottonseed cake on the performance of broilers. *Indian J. Anim. Nutr.*, **15**: 188 – 193.
46. TCHOUMBOUE J., MANJELI Y., TEGUIA A., EWANE N. J., 2000. Productivité et effets comparés de trois systèmes de conduite de l'élevage sur les performances de l'aviculture villageoise dans les hautes terres de l'ouest Cameroun. *Sci. Agron. Dév.*, **2** (1) : 6 – 14.
47. TEETER R., WIERNUSZ C., 2003. Broiler nutrition guide. In Cobb Productions. *Cobb*, pp 52.
48. TOWNSEND T., 2008. Situation et perspectives du coton. In Groupe des produits tropicaux, Varsovie, Pologne, 2 juin 2008, 5p.
49. TRAORE E. H., 2006. Première évaluation de la structure et de l'importance du secteur avicole commercial et familial en Afrique de l'Ouest : Rapport du Sénégal, *FAO*, 52 p.
50. WAL J.M., 1970. L'utilisation des sous-produits industriels en alimentation animale à Madagascar. IEMVT, Madagascar.

51. WATKINS S. E., SKINNER J. T., ADAMS M. H., WALDROUP P. W., 1993. An evaluation of low-gossypol cottonseed meal in diets for broilers chickens: Effect of cottonseed meal level and lysine supplementation. *J. Appl. Poult. Res.*, **2**: 221 – 226.
52. WATKINS S. E., SALEH E. A., WALDROUP P. W., 2002. Reduction in dietary nutrient density aids in utilization of high protein cottonseed meal in broiler. *J. Poult. Res.*, **1**: 53 – 58.
53. WEN-JU Z., ZI-RONG X., JIAN-YI S., XIA Y., 2006. Effect of selected fungi on the reduction of gossypol levels and nutritional value during solid substrate fermentation of cottonseed meal. *J. Zhejiang Univ. Sci.*, **7**: 690 – 695.
54. YO T., 1991. Utilisation directe de grains de cotons décortiqués de variétés sans gossypol dans l'alimentation des poulets de chair en Côte d' Ivoire. *Rev. Elev. Med. Vet. Pays trop.*, **44** (3) : 355 – 360.
55. YU F., BARRY T. N., MOUGHAN P. J., WILSON G. F., 1993. Condensed tannin and gossypol concentrations in cottonseed and in processed cottonseed meal. *J. Sci. Food Agric.*, **63**: 7 – 15.
56. YU F., MCNABB W. C., BARRY T. N., MOUGHAN P. J., 1996. Effect of heat treatment upon the chemical composition of cottonseed meal and upon the reactivity of cottonseed tannins. *J. Sci. Food Agric.*, **72**: 263 – 272.



**Tableau I.** Composition des aliments utilisés.

	Démarrage			Croissance			A_simplif <sup>4</sup>
	Tém._C. <sup>1</sup>	Tém._E. <sup>2</sup>	FCG <sup>3</sup>	Tém._C. <sup>1</sup>	Tém._E. <sup>2</sup>	FCG <sup>3</sup>	
<b>Aliments du mélange (%)</b>							
Maïs	-	40	49,2	-	52	49,5	70
Mil	-	13	9	-	10	8	0
Sorgho	-	4	3	-	4	3	0
Tourteau d'arachide	-	25	0	-	25	0	0
Fève de coton	-	0	25	-	0	25	25
Farine de poisson	-	8	7,3	-	0	8	0
Craie	-	0,05	0,09	-	0	0	0
Phosphate tricalcique	-	0,25	0,01	-	0,75	0,1	0
Huile d'arachide	-	4,5	1,2	-	2,72	1,2	0
Lysine de synthèse	-	0,15	0,15	-	0,4	0,1	0
Méthionine de synthèse	-	0,05	0,05	-	0,13	0,1	0
Macro-vetamix 5% <sup>5</sup>	-	5	5	-	5	5	5
<b>Composition prévue</b>							
EM (kcal/kg)	-	3147	3134	-	3095	3128	3115
Protéine brut (%)	-	22,91	22,93	-	19,70	23,19	19,36
Lysine (%)	-	1,25	1,28	-	1,19	1,48	0,84
Méthionine (%)	-	0,54	0,56	-	0,51	0,61	0,40
Calcium (%)	-	1,97	1,87	-	1,73	1,91	1,46
Phosphore (%)	-	0,48	0,73	-	0,38	0,76	0,55
Extrait étherée (%)	-	9,36	13,79	-	7,68	13,79	12,68
Cellulose brute (%)	-	5,17	6,10	-	5,43	6,08	6,39
<b>Composition analysée</b>							
EM (kcal/kg)	3107	3076	3263	3135	2937	3045	3002
Protéine brut (%)	22,48	23,64	21,63	21,22	19,20	20,67	19,37
Extrait étherée (%)	2,37	6,73	5,83	3,56	5,90	4,45	4,50
Cellulose brute (%)	4,55	7,67	5,53	5,00	7,90	6,49	5,58
Rapport EM/PB	138	130	150	148	153	147	155

<sup>1</sup>Tém\_C. : Témoin commercial ; <sup>2</sup>Tém\_E. : Témoin expérimental contenant 25% de tourteau d'arachide ; <sup>3</sup>FCG : aliments où le tourteau d'arachide a été totalement remplacé par la fève de coton glandless ; Alim\_simplif. ; <sup>4</sup>A\_simplif. : aliment simplifié composé uniquement de 3 ingrédients, de même formulation en démarrage et en croissance;

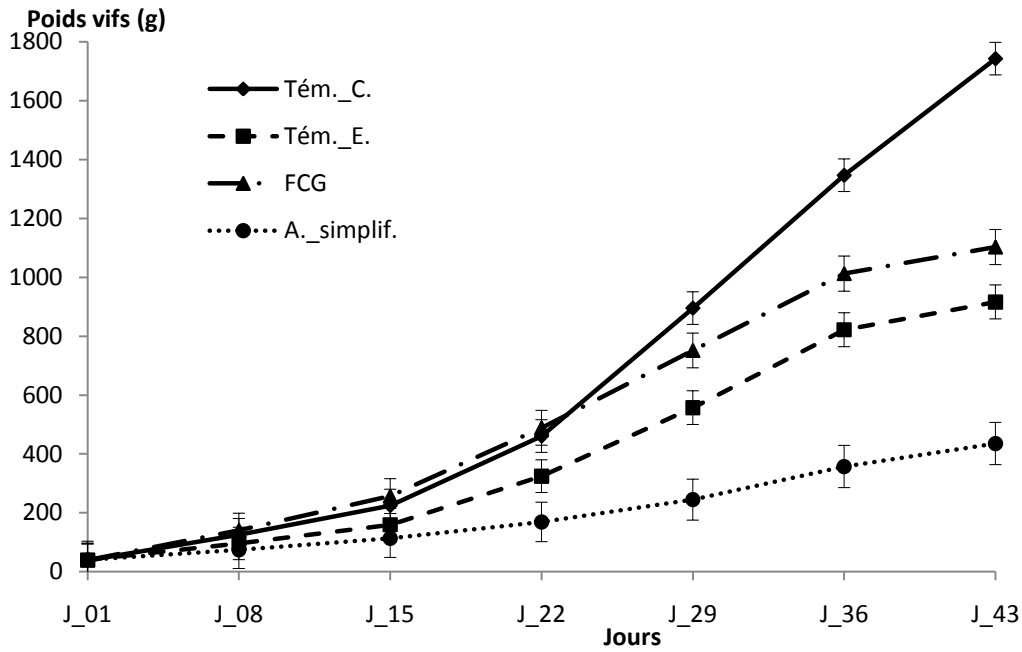
<sup>5</sup>Macro-vetamix 5% (Vetagropha technology) which provided (per kg of premix): Ca, 250 g; P, 49; NaCl, 33; Mn, 1,4 g; Zn, 1,2 g; Fe, 1,4 g; Cu 0,2 g; I, 8 ppm; Co, 2 ppm; Se, 2,8 ppm; vitamin A, 250,000 IU; vitamin D<sub>3</sub>, 50,000 IU; vitamin E, 290 mg; vitamin B1, 55 mg; vitamin B2, 100 mg; vitamin B3, 480 mg; vitamin B5 195 mg; vitamin B6, 55 mg; vitamin B12, 600 µg; vitamin K3, 50 mg; folic acid vitamin, 27 mg; vitamin C, 175 mg; H biotin vitamin, 600 µg; Lysine HCl, 5%; Methionine, 3% ; PB, 9,2% ; MG, 0,9%.

**Tableau II.** Performances zootechniques de poulets recevant soit un aliment de type commercial (Témoin commercial, *Tém.\_C.*), un aliment témoin contenant 25% de tourteau d'arachide (Témoin expérimental, *Tém.\_E.*), un aliment où le tourteau d'arachide a été totalement remplacé par la fève de coton glandless (FCG), ou un aliment simplifié à base de maïs et de fève de coton (*Alim\_simplif.*).

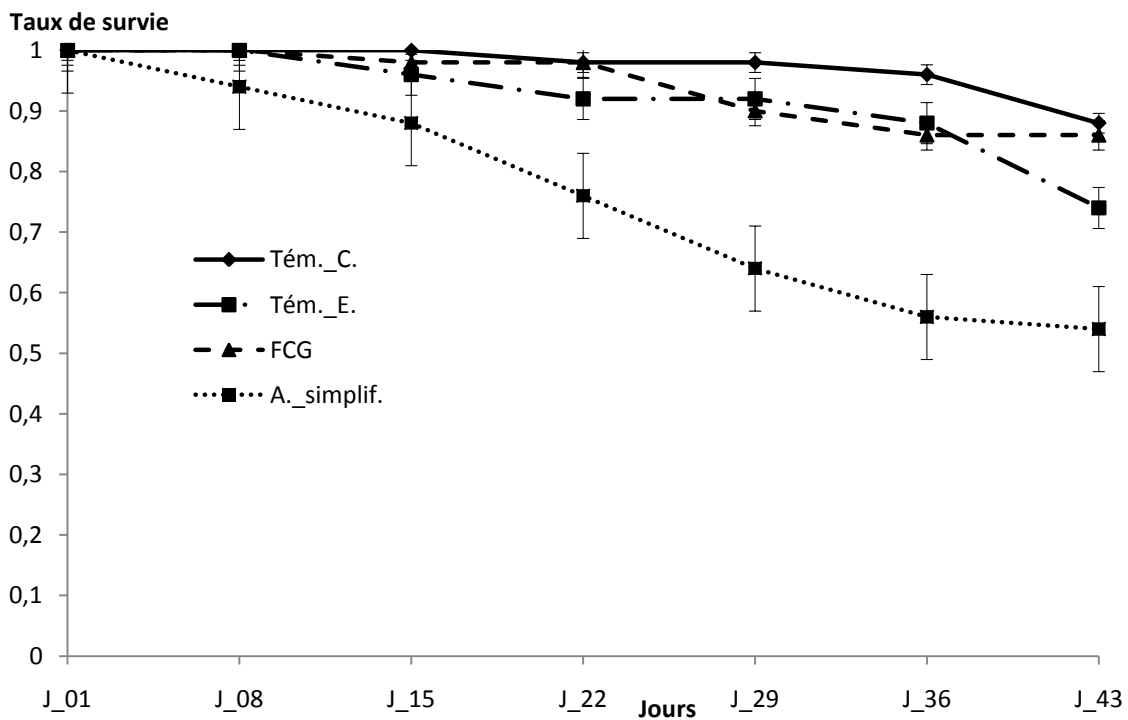
	Tém._C. <sup>1</sup>	Tém._E. <sup>2</sup>	FCG <sup>3</sup>	A._simplif. <sup>4</sup>	ETR <sup>5</sup>	P>F
Poids initial, g	38,7a	39,9a	38,9a	39,8a	2,8	0,767
Poids fin démarrage, g	460,7a	324,4b	488,8a	168,8c	48,3	0,001
Poids final croissance, g	1732,2a	916,3c	1102,9b	435,3d	180,1	0,001
GQM démarrage, g/j	23,1	15,8	23,8	6,4	-	-
GQM croissance, g/j	61,1	28,2	29,2	12,7	-	-
Ingestion tot. démarrage, g	648	527	800	303	-	-
Ingestion tot. croissance, g	2833	1943	2174	505	-	-
IC démarrage	1,53	1,85	1,77	2,34	-	-
IC croissance	2,21	3,28	3,54	1,89	-	-
Mortalité démarrage, %	2	8	2	24	-	-
Mortalité croissance, %	10	18	12	22	-	-

Les chiffres avec la même lettre, sur la même ligne, ne présentent aucune différence significative au seuil de 5%

<sup>1</sup>Tém.\_C. : Témoin commercial ; <sup>2</sup>Tém.\_E. : Témoin expérimental contenant 25% de tourteau d'arachide ; <sup>3</sup>FCG : aliments où le tourteau d'arachide a été totalement remplacé par la fève de coton glandless ; *Alim\_simplif.* ; <sup>4</sup>A.\_simplif. : aliment simplifié composé uniquement de 3 ingrédients, de même formulation en démarrage et en croissance; <sup>5</sup>ETR : écart-type résiduel



**Figure 1.** Evolution des performances pondérales de poulets recevant soit un aliment de type commercial (Témoin commercial, Tém.\_C.), un aliment témoin contenant 25% de tourteau d'arachide (Témoin expérimental, Tém.\_E.), un aliments où le tourteau d'arachide a été totalement remplacé par la fève de coton glandless (FCG), ou un aliment simplifié à base de maïs et de fève de coton (Alim\_simplif.)



**Figure 2.** Evolution du taux de survie de poulets recevant soit un aliment de type commercial (Témoin commercial, Tém.\_C.), un aliment témoin contenant 25% de tourteau d'arachide (Témoin expérimental, Tém.\_E.), un aliments où le tourteau d'arachide a été totalement remplacé par la fève de coton glandless (FCG), ou un aliment simplifié à base de maïs et de fève de coton (Alim\_simplif.)

## **Chapitre IV**

---

**Effets spécifiques des protéines et lipides de coton en production de poulets au Sénégal**

## **Effect of protein and lipid sources on broilers receiving diets based on groundnut cake and cottonseed kernel: animal performances, nutrient digestibility and carcass characteristics**

---

**Article 5** – Soumis pour publication sur *Br. Poult. Sci.*

**Diaw M.T., Dieng A., Mergeai G., Hornick J.L.**

### **Summary**

1. A study has been conducted on broilers in order to evaluate the effects, on animal performance, nutrient digestibility and carcass characteristics, of protein and lipid fractions of glandless cottonseed kernels in comparison with those from groundnut.
2. The cotton protein increased body weight, cumulative feed intake and feed efficiency when compared to groundnut protein fraction. Lipid fractions had few effects. By contrast, nutrient digestibility appeared to be lower in animals that received cotton by-products.
3. The cotton protein improved significantly the weight of carcass compartments and ratios, lipids showing few effects.
4. This experiment suggests that the positive effects of cottonseed kernels on broilers production, when compared to groundnut cake and oil, are associated to the protein fraction.

**Key words:** Groundnut cake, Cotton, Glandless, protein, lipid, Broilers

## 1. Introduction

Cotton is a plant of the Malvaceae family and *Gossypium hirsutum* is the main textile plant with, nowadays, 95% of the 27 millions of ton of the cotton production in the world (Mergeai 2003; Townsend, 2008). The largest part of this production is constituted by seed (Jones, 1985) that are very rich in nutrients and especially in protein (Nagalakshmi *et al.*, 2007). Indeed cotton is, after soybean, the best protein-producing plant in the world with, according to the various treatments, from 222 (Sharma *et al.*, 1978) to 560 g protein per kg seed (Ryan *et al.*, 1986).

Unfortunately, anti-nutritional factors as gossypol limit their use in animal nutrition. Gossypol is a terpenoid aldehyde (1,1', 6,6',7,7'-hexahydroxy-5,5'-diisopropyl-1,3,3'-diméthyl- [2,2' -binaphtalène] -8,8'-dicarboxaldéhyde) found in cotton seeds, protecting the plant against insects (Dao, 2002). Its free form is particularly noxious for monogastrics (Lusas and Janidin, 1987; Alford *et al.*, 1996) with negative effects on animal growth, feed intake or survival rates (Morgan *et al.*, 1988; Willard *et al.*, 1995) and affects various organs like liver, kidneys or heart (Gamboa *et al.*, 2001a; 2001b). Combined to the naturally high cellulose content of the cotton seeds (Gamboa *et al.*, 2001a; 2001b; Ojewola *et al.*, 2006) and to the presence of some cyclopropane fatty acids as malvalic and sterculic acids (Schmidely and Sauvart, 2001) it explains that the derived by-products of the seeds are avoided in poultry production (Lyman *et al.*, 1959; Azman and Yilmaz, 2005).

There have been several studies wishing to detoxify gossypol in order to incorporate cottonseed meal (CSM) in non-ruminant feed and particularly in broilers diets. Indeed, CSM can be partially detoxified by ferrous sulphate (Schaibe *et al.*, 1934; Waldroup and Goodner, 1973; Panigrahi *et al.*, 1989; Henry *et al.*, 2001) or lysin addition (Ryan *et al.*, 1986; Watkins *et al.*, 1993) and by various treatments during the extraction process (Nagalakshmi *et al.*, 2007). Recently, it has also been shown that selected yeasts could metabolize gossypol for feed production (Wen-Ju *et al.*, 2006). However, these methods are unsatisfactory owing to either a denaturation of feed by the ferrous sulphate, the expensiveness of lysine and the complexity and inapplicability on a large way of biologic fermentation.

During the last decades, some commercial cotton totally devoid of pigment glands (glandless varieties) was created, the nutritive value of which being higher than the classic varieties (Altman *et al.*, 1990). Nevertheless, according to Mergeai (2003) the susceptibility of these glandless varieties to insects broke their adoption with less than 0.5% (M124-10 and M307-10 varieties) of the cotton area exploited (Wen-ju *et al.*, 2006).

Breeding efforts are now being made in different parts of the world to develop cotton varieties presenting gossypol glands in their aerial organs but not in the seeds (Vroh bi *et al.*, 1999; Sunilkumar

*et al.*, 2006). The progresses made in this way with the production in a near future of cotton varieties in which gossypol secretion would be inhibited before the seed germination should alleviate the constraints associated to cotton by-products.

Incorporating cottonseed kernel (CSK) in poultry diet, Diaw *et al.* (2009) observed that level of CSK improved body weight proportionally to substitution of groundnut cake (GC). It was difficult to attribute these higher performances to protein or fat characteristics of CSK. Thus, the present study aims to discriminate the effects of protein and fat on broilers production in the case of total substitution of GC by CSK.

## **2. Materials and methods**

The study was planned at the end of the rainy season at the experimental station of the National High School of Agriculture of the University of Thies (Senegal). Temperature and moisture were recorded daily, at 7 am and 1 pm.

### ***2.1. Processing of extracting oil***

*Gossypium hirsutum* cultivar GL7 was cropped in the same station in Senegal. After picking off the fibers, seeds were roughly crushed and sifting gave the CSK. Oil was extracted in two steps. In the first one, CSK was mixed with petroleum ether in 1: 2 volume ratio. Twelve hours later, lipid solvent was recovered but the level of oil extraction was low at about 50%. CSK was spread and kept at ambient temperature, at shadow, for twelve hours, in order to allow residual ether to evaporate. CSK was then put in a press for final oil extraction and so considered delipidated cottonseed kernel (97.8 g.EE/kgDM), was obtained.

### ***2.2. Animals and management***

Four hundred 1-d-old unsexed and unidentified Cobb 500 broilers were used. They were randomly assigned to four groups. Each group was shared out in two replicate pens of fifty birds. A first group received diets in which the undelipidated cottonseed kernels were used as main protein source. The lipid fractions of those diets were thus high in cotton seed lipids. This group was called “cottonseed protein-cottonseed lipids” (CPCL). A second group received diets containing groundnut cake as main protein source and groundnut oil to reach similar ether extract (EE) levels as compared to CPCL group. This group was called “groundnut protein-groundnut lipids” (GPGL). A third group received diets similar to GPGL but in which the groundnut oil was replaced with the oil extracted from CSK (group GPCL). Finally, the last group received diets in which delipidated CSK plus groundnut oil were used (group CPGL). Four cross-super groups could be thus also distinguished: animals that received groundnut protein (GP) or cotton protein (CP), and animals that received groundnut lipids (GL) or cotton lipids (CL).

A starting diet was used until 21 days old and a growing diet was offered afterwards until slaughter at 43d. The compositions of the diets are reported in table 1. The different diets were formulated to present iso-proteic and iso-energetic characteristics, and levels of nutrients as recommended by the National Research Council (NRC, 1994). The levels of oil addition were adopted in order to obtain maximal values close to 100 g per kg, as recommended by Teeter *et al.* (1987). Feed and water were provided on a marginal *ad libitum* basis for the duration of the experiment.

Body weights (BW) were obtained on Day 1 and once a week thereafter. Birds were observed twice daily to assess healthiness and death occurrence. Feed intake (FI) was recorded weekly.

At the end of the experiment, 10 animals per group were randomly chosen and killed by cervical rupture. They were eviscerated for carcass characteristics determination. Individual weights of carcass, breast, legs and wings were measured and ratios were calculated.

In a parallel experiment, nutrient digestibility was evaluated. Five 6-w-old Cob 500 broilers, 1300 g mean BW, were used for each of the 4 diets and two periods (starting and growing diets). They were penned in individual metabolism cages and, after an adaptation period (7 days), feed intakes, refusals and faeces were obtained once a day and dehydrated at 60°C, over a period of 7 days. At the end of the trial, faeces were gathered by animal and sample was taken for analyses to evaluate the fecal nutrient. Apparent nutrients digestibility (AND) was calculated according to the following formula:

$$\text{AND (g/100g)} = 100 \times (\text{NI} - \text{FN}) / \text{NI}$$

Where NI is nutrient intake and FN is faecal nutrient.

### ***2.3. Chemical analysis and calculations***

Samples were analyzed for their proximate composition (AOAC, 1990) on dry matter (DM) basis (method no. 934.01) for organic matter (OM, method no. 942.05), ether extract (EE, method no. 920.39), crude fiber (CF, method no. 978.10), and ash (method no. 942.05). Crude protein was determined by the Kjeldahl method, as nitrogen (N) x 6.25. Nitrogen non-extract (NNE) was calculated as:  $\text{NNE} = 1,000 - \text{Crude protein} - \text{CB} - \text{ash} - \text{EE}$ , fractions being expressed as g/kg (NRC, 2001).

Metabolizable Energy (ME) was estimated by an indirect method, using the following equation (INRA, 1984):  $\text{True ME (MJ / kg.DM)} = (3951 + 54.4 \text{ EE} - 88.7 \text{ CF} - 40.8 \text{ ash}) \times 0.004184$

where constituents are expressed as percentages of the diet.



## 2.4. Data analysis

For BW, nutrients digestibility and carcass components, the data were individual and analyzed according to General linear model (Proc GLM, SAS, 2000). The model initially used included the main fixed effects of protein source, lipid source, interaction protein x lipid sources and the random effect of repetition. The repetition effect was found not significant in any case. The final model was thus:

$$Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Where	$\mu$ : overall mean
	$\alpha_i$ : effect of the main protein source: groundnut protein (GP) or cotton protein (CP)
	$\beta_j$ = effect of the main lipid source: groundnut lipid (GL) or cotton lipid (CL)
	$\alpha\beta_{ij}$ = effect of interaction between the main effects
	$\varepsilon_{ijk}$ = random residual effect (N[0,1])

## 3. Results

### 3.1. Animal performances

The mean temperature and moisture at 7 am and 1 pm were respectively  $26.2 \pm 0.4$  and  $32.7 \pm 2.2^\circ\text{C}$  and  $53.4 \pm 5.06\%$  and  $86.2 \pm 2.5\%$ .

At d22 and d43, BW was significantly affected by the source of protein ( $p < 0.001$ ) and the interaction between proteins and lipids source ( $p < 0.001$ ) but not by the source of lipid (table 2). The BW showed generally a rapid evolution with time (figure 1). Animals from GPGL and GPCL groups had the same BW evolution. The birds CPCL and CPGL showed similar BW evolution during the starting period, until d29, but during the growing period, CPGL animals gained significantly more weight with, at the end of this experimentation, live weight respectively close to 1698 and 1602 g in the two groups, vs 1463 g for animals from the GPGL and GPCL groups (table 2).

In conformity with the BW, during the starting period average daily gain (ADG) showed higher values for the CP groups (35.3 vs 29.3 g for GP), while according to the lipid source, ADG remained similar with 32.3 and 32.2 g for respectively the GL and the CL (table 2). During the growing period, some differences could be noted in the ADG resulting from the lipid sources with 40.9 and 38.8 g for

respectively the GL and the CL, whereas, the CP realize the best ADG (41.3 g). Finally the CPGL group showed, during the growing period, the higher ADG (43.9 vs close to 38.9 g in the other group).

The Cumulative feed intakes (CFI) were more important in the CP group (1098 and 3527 g respectively at d21 and d43). For the lipid source, there was no difference during the starting period but at d43, GL intake was higher than in CL groups (respectively 3476 and 3340 g). Finally CFI was higher in the CPGL groups with 1115 and 3714 g at respectively d21 and d43, followed by the CPCL and GPCL groups (3340 and 3339 g at d43). Ingestion was lower for animals in the GPGL group with respectively values of 1012 and 3238 g.

Only the protein source gave some difference for the Feed conversion ratio (FCR) during the starting period where the best values were noted with CP in broilers diets (1.38, vs 1.54 for the GP diets). Therefore no difference was observed for the lipid source. The CPCL group was the most efficient with 1.35 and 2.69 for respectively the starting and growing period, followed by CPGL at the starting period and the GPGL during the growing period (respectively 1.41 and 2.71). Diet GPCL presented the higher FCR during the starting period (1.56) and the values similar to that obtained by CPGL (about 2.77) during the growing period.

At the starting period the mortality was less than 1%. It was higher during the growing period, especially for the animal with groundnut cake as source of protein in their feed (15% vs 7.2% for respectively the GP and CP groups).

### ***3.2. Nutrients digestibility***

For the starting period, dry matter digestibility was significantly affected by the source of protein ( $p = 0.022$ ) and the interaction between protein and lipid sources ( $p = 0.020$ ) while ash digestibility was affected by each of effects. Organic matter, EE and crude protein were not affected by experimental factor during this period.

DM digestibility was higher with GP (569.1 vs 535.1 g/kg for diets with CP), GPGL giving the highest value with 577.9 g/kg following by diet GPCL and CPGL (respectively 560.3 and 553.1 g/kg). The lower DM digestibility was observed with CPCL with 517.1 g/kg (table 3). Ash digestibility was higher in GP than CP groups (692.6 vs 619.5 g/kg), but higher in CL than in the GL group (676.0 vs 636.1 g/kg). Consequently, ash digestibility was the highest in GPCL groups (table 3).

For the growing diets, ash and EE were significantly affected by the source of protein ( $p < 0.001$ ) and interaction between protein and lipid sources ( $p < 0.05$ ) and by the lipids source in the case of the EE ( $p < 0.05$ ). DM and crude protein were not affected by the experimental factors. Differences associated to OM digestibility resulted to the effect of the lipid sources ( $p < 0.001$ ) and its interaction with

protein ( $p < 0.05$ ). The EE digestibility was high at 936.0 and 865.4 g/kg in GP and CP diets respectively and higher in GL (929.3 g/kg) than in the CL group (872.0 g/kg). Therefore, digestibility of EE was significantly higher in GPCL diet (954.7 g/kg) followed by GPCL and CPGL diets (respectively 917.4 and 904.0 g/kg). The lowest EE digestibility was observed in CPCL group (826.7 g/kg).

### **3.3. Carcass components**

The weight of carcass and carcass components were significantly affected by the source of protein ( $p < 0.001$ ), whereas no difference was associated to the lipid source. The interactions between protein and lipid sources was significant only in the case of carcass weight ( $p = 0.031$ ).

Cotton protein increased significantly the carcass weight (1468 g vs 1223 g for the GP,  $p < 0.05$ ) while GL and CL groups had similar weight close to 1340 g (table 4). Cotton lipids increased the performances of animals that received groundnut protein but decreased that of animals receiving cotton protein ( $p < 0.001$ ).

Similar protein effect was observed for the breast ( $p = 0.040$ ) and thigh ( $p = 0.016$ ). Neither lipid nor interaction effects were significant on breast, thigh and wing weights. Only thigh weight was subject to tendency for interaction ( $p = 0.055$ ), similar to effects observed on breast.

When considering the dressing and carcass ratios, similar result as the weight of carcass and their components could be observed. Animals which received CP had the best dressing carcass and breast/carcass ( $p < 0.05$ ) and no lipid or interaction effects were observed. Only thigh/carcass ratio showed a significant lipid effect ( $p < 0.001$ ), the animals that received CL having the lowest values.

## **4. Discussion**

### **4.1. Animal performances**

The performances obtained were satisfactory considering the climatic conditions associated to the present experiment. The final BW was lower than those reported by Watkins *et al.* (1993) and Gamboa *et al.* (2001b) at d43, who obtained birds weighing more than 2 kg. In their works, these authors used soybean meal as control and add lysine and/or ferrous sulphate to detoxify gossypol in experimental groups. In another way, their experimentations were performed in strict conditions of breeding. Sekhar-Reddy *et al.* (1998), in similar conditions as presently, realized lower performances, BW ranging between 1020 and 1218 g, while El-Boushi and Raternick (1989) obtained birds with 1693 to 1850 g at d43.

The final BW was also lower than those reported by Diaw *et al.* (2009), in groups where groundnut substitution by CSK was maximal (75%), but the present trial was planned over a 3 days shorter (43 vs 46 days). Whatever, this experiment and that of Diaw *et al.* (2009) may be hardly compared.

Diaw *et al.* (2009) showed that the ponderal substitution of delipidated groundnut cake plus groundnut oil by glandless CSK, in order to maintain iso-proteic and iso-lipidic characteristics of the diets, increased broiler performance proportionally to the level of substitution. Such trial was unable to discriminate the effects of proteic and lipid fractions. Presently, the experimental protocol aimed to orthogonalize the specific effect of main protein and lipids sources. In agreement with previous results, CSK allowed better performances than groundnut cake complemented with groundnut lipids.

Similar results were also reported by Ojewola and Ewa (2005) when varying dietary plant protein (cottonseed meal, soybean meal, groundnut cake, cashew kernel and pigeon pea meal) in broilers feed. Gamboa *et al.* (2001b), as for them, performed an experiment lasting for 4 weeks. They observed no significant differences between a control group receiving groundnut cake as protein source and another fed with 28% of CSM in diets.

The substitution of groundnut lipid by cottonseed lipid had either no significant effect on birds live weight and ADG or even decreased performance at the end of the experiment in animals that received cotton protein. It may be thus suggest that the protein fraction of cottonseed is mainly responsible of the positive effects observed presently and by Diaw *et al.* (2009). Besides the differences in fatty acids characteristics, the diets differed by the fact that lipids from CPCL were trapped into CSK cells, by contrast to groundnut oil that was speed and mixed in diet. This may have decreased lipid availability in CPCL, as suggested by differences in EE digestibility (cfr infra).

As expected from live weight evolution, cottonseed kernel as protein source allowed better ADG during starting period when compared to the groundnut cake and during the growing period higher performances were observed in CPCL group. ADG remained however lower than those reported by Diaw *et al.* (2009) where 51.7 and 59.7 were respectively obtained with 50% and 75% groundnut cake substitution by CSK.

It must be noted that after the 5<sup>th</sup> experimental week, feed was restricted for fighting against mortality. Indeed, under heat climate (presently more than 32°C at 1H p.m.), feeding birds on an *ad libitum* level may markedly increase mortality (Wiernusz, 1998). As a consequence, ADG was low when compared to other authors which worked in better condition like Gamboa *et al* (2001b), Ojewola and Ewa (2005) and Diaw *et al.* (2009).

In a similar trial managed by Ojewola and Ewa (2005), birds ate, at the 6 weeks of age, 161.31 g per day with 30% CSM in diet and Diaw *et al.* (2009) obtained 129.8 g per day during the growing period with 18.75% cottonseed kernel in diets. In this trial, during the 4<sup>th</sup> week (d22 to d29) animals fed 108 and 128 g per day respectively in the CPCL and CPGL groups, more than values reported by Diaw *et al.* (2009) in the same period with 88.59 and 99.13 g per day for respectively 50% and 75% of groundnut cake substituting.

Differences observed in BW and ADG, on the one hand, and in CFI, on the other hand, had consequences on FCR. Indeed, during the starting period, feed with cottonseed as protein diets were significantly more valorized by birds than those receiving groundnut cake, and cotton lipid gave an additive positive effect in CP groups and a negative effect in GP groups. Gamboa *et al.* (2001b) obtained FCR between 1.38 and 1.45 and values reported by Diaw *et al.* (2009) were lower and not dependent to the level of substitution by cottonseed kernel.

During the growing period, FCR were higher than those reported by Diaw *et al.* (2009) but in conformity with results of Ojewola and Ewa (2005) who obtained 2.79, with CSM as main protein source.

#### **4.2. Nutrients digestibility**

During the starting period, the significance of difference in ash digestibility between groups is hard to explain. Moreover, it is surprising that CP groups, especially CPCL animals, showed a lower DM digestibility while their growth performances were higher. An explanation can be found at the level of feed intake that was higher in CP groups. Whatever, the DM digestibility values remained very low and few compatible with the feed efficiency measured. Ojewola and Ewa (2005) reported similar result when incorporating different protein source but levels of digestibility was lower (555.3 and 396.7 g/kg for respectively groundnut and cotton based diets).

The fact that cotton lipid, when compared to groundnut lipid, tended to decrease DM digestibility, especially when cotton protein was offered, may be hardly related to animal performance. An effect of lipid location in diet particles (intracellular or not) could however not be excluded. Effects could be related as well at the level of EE availability as at the level of protection against oxidative phenomena, but in opposite ways.

The level of EE digestibility as for it was high (more than 800 g/kg). This was also reported by several authors (Iyayi *et al.*, 2003; Ojewola and Ewa, 2005; Ojewola *et al.*, 2006; Oduguwa *et al.*, 2007).

During the growing period, the crude protein digestibility was in conformity in the value of Ojewola and Ewa (2005) who reported a level of 702.3 g/kg when CSM were incorporated at a level of 30% in

the diets. Moreover, the digestibility of crude protein approached tendency for higher values when GP was incorporated in the diets. Ojewola and Ewa (2005) and Ojewola *et al.* (2006) reported that groundnut cake presented a better level of digestibility when compared to CSM and soybean meal.

#### **4.3. Carcass components**

According to Diaw *et al.* (2009), the carcass weight increased proportionally to cottonseed kernel incorporate in diets. This trial confirms that hypothesis with 1426 g at total substitution (CPCL group) vs 1006, 1229 and 1379 g respectively at 25%, 50% and 75% of substitution reported by these authors. CP gave also carcasses 250g heavier than in GP groups. Surprisingly, with cotton as main protein source, the groundnut oil gave significantly better value than the cotton oil with 1511 and 1426 g for respectively the CPGL and CPCL groups. This remains hard to explain. Whatever, the hypothesis of an effect of cotton lipids on carcass component development, reported by Diaw *et al.* (2009), could not be retained in the present experiment.

Cottonseed protein gave more breasts, more thighs and a higher proportion of breast in the carcass, as was yet reported by Diaw *et al.* (2009). These results are also in conformity with those reported by Ojewola and Ewa (2005) with 70.8 and 69.1 % of dressing in groups that received respectively CSM and groundnut cake in diet. This suggests the positive effect of cotton protein fraction on muscle growth. However, owing to the fact that cotton and groundnut protein are similar enough (Diaw *et al.*, 2009), it is not excluded that this effect could be associated to the fact that cotton protein were never submitted to a heat in this experiment. By contrast, groundnut cake was obtained after mechanical processes that are known to increase the temperature of the product, leading to possible protein denaturation. In an opposite way, the results clearly indicate that crude glandless cottonseed kernels were free of anti-nutritional factors likely to be harmful to broilers production.

#### **5. Conclusion**

As a conclusion, this experiment indicates that, when compared to groundnut cake, glandless cottonseed kernels present a higher appetibility, improving thus animal performances. The phenomenon appears to be associated to the protein fraction of the cottonseed. The presence of natural intracellular lipids in untreated kernels could decrease the digestibility of the diet but with limited impacts on final live weight and carcass weight. A specific metabolic effect of cotton lipids, suggested by previous authors, could not be retained in the present experiment to explain the results.

#### **Aknowledgements**

This research was supported by the Commission of University Co-operation for Development (CUD) of Belgium. The authors of this work thank this organization.

## References

- ALFORD, B. B., LIEPA, G. U. & VANBERBER, A. D. (1996) Cottonseed protein: What does the future hold?. *Plant Food and Human Nutrition*, **49**: 1-11.
- ALTMAN, D.W., STIPANOVIC, R.D. & BELL, A.A. (1990) Terpenoids in foliar pigment glands of A, D, and AD genome cottons: Introgression potential for pest resistance. *Journal of Heredity*, **81**: 447- 454.
- AOAC, (1990) Official methods of Analysis. 15th edition, Association of Official Analytical Chemists, Washington DC.
- AZMAN M.A. & YILMAZ M. (2005) The growth performance of broiler chicks fed with diets containing CSM supplemented with Lysine. *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, **156** (2) : 104 – 106.
- DAO, V.T., GASPARD, C., MAYER, M., WERNER, G.H., NGUYEN, S.N., & MICHELOT, R.J. (2000) Synthesis and cytotoxicity of gossypol related compounds. *European Journal of Medicinal Chemistry*, **35**(9): 805- 813.
- DIAW M.T., DIENG A., MERGEAI G., YOUSOUF I., DOTREPPE O. & HORNICK J.L. (2009) Effect of groundnut cake substitution by glandless cottonseed kernels on broilers production: Animal performance, Nutrient digestibility, Carcass characteristics and fatty acid composition of muscle and fat. *International Journal of Poultry Science*, (in press).
- EL BOUSHY, A. R. & RATERINK, R. (1989) Replacement of soybean meal by cottonseed meal and peanut meal or both in low energy diets for broilers. *Poultry Science*, **68**: 799 – 804.
- GAMBOA, D.A., CALHOUN, M.C., KUHLMANN, S.W., HAQ, A.U. & BAILEY, C.A. (2001a) Use of expander cottonseed meal in broiler diets formulated on a digestible Amino acid Basis. *Poultry Science*, **80** : 789 – 794.
- GAMBOA, D. A., CALHOUN, M.C., KUHLMANN, S.W., HAQ, A.U. & BAILEY, C.A. (2001b) Tissue distribution of gossypol Enantiomers in broilers fed various cottonseed meals. *Poultry Science*, **80**: 920 – 925.
- HENRY, M.H., PESTI, G.M., BAKALLI, R., LEE, J., TOLEDO, R.T., EITENMILLER, R.R. & PHILLIPS, R.D. (2001) The performance of Broiler chicks fed diets containing extruded cottonseed meal with Lysine. *Poultry Science*, **80**: 762 – 768.
- IYAYI, E.A., KLUTH, H. & RODEHUTSCRD, M. (2008) Effect of heat treatment on antinutrients and precaecal crude protein digestibility in broilers of four tropical crop seeds. *International Journal of Food Science and Technology*, **43**: 610 – 616.
- JONES L.A. (1985) Gossypol chemistry and plant distribution. In: Jones L.A. (Ed.), Male Fertility and its Regulation. MTP Press Ltd: Lancaster, 93 – 110.

- LYMAN, C. M., BALIGA, B. P. & SLAY, M. W. (1959) Reactions of proteins with gossypol. *Archives Biochemistry and Biophysical*, **84**: 486 – 497.
- LUSAS, E.W. & JINIDIN, G.M. (1987) Glandless cottonseed: A review of the first 25 years of processing and utilisation research. *Journal of American Oil Chemists Society*, **64**: 839 -854.
- MERGEAI G. Forty years of Genetic improvement of cotton through interspecific hybridisation at Gembloux Agriculture University : Achievement and prospects. In: International Cotton Advisory Comity (Ed), World cotton Research Conference-3, Cape Town, 9 – 13 March 2003.
- MORGAN, S.E., STAIR, E.L., MARTIN, T.M., EDWARDS, W.C. & MORGAN, L (1988) Clinical, clinicopathologic, pathologic, and alterations associated with gossypol toxicosis in feeder lambs. *American Journal Of Veterinary Research*, **49**: 493 – 499.
- NAGALAKSHMI, D., SAVARAN, V., RAMA, R., ARUN, K.P. & VADALI, R.B.S (2007) Cottonseed meal in poultry diets: A review. *International Journal of Poultry Science*, **44**: 119 – 134.
- NRC (2001) *Nutrient Requirements of dairy cattle*, 7<sup>th</sup> rev. (Eds) National Research Council, (Washington, DC: Author).
- ODUGUWA, O.O., PIRGOZLIEV, V. & ACAMOVIC T. (2007) Energy metabolisability and digestibility of amino acids by broilers fed on malted sorghum sprouts supplemented with polyethylene glycol, charcoal, phytase and xylanase. *British Poultry Science*, **48**: 55 – 63.
- OJEWOLA, G. S. & EWA, U. E. (2005) Response of growing broiler to varying dietary plant protein. *International Journal of Poultry Science*, **4**: 765 – 771.
- OJEWOLA, G.S., UKACHUCKWU, S.N. & OKULONYE, E.I (2006) Cottonseed meal as substitute for soybean meal in broiler ration. *International Journal of Poultry Science*, **5**: 360 – 364.
- PANIGRAHI, S., PLUMB, V.E. & MACHIA, D.H. (1989) Effects of dietary cottonseed meal with and without iron treatment on laying hens. *British Poultry Science*, **30**: 641 – 651.
- RYAN, J.R., KRATZER, F.H., GRACE, C.R. & VOHRA, P. (1986) Glandless cottonseed meal for laying and breeding hens and broiler chicks. *Poultry Science*, **65** : 945 – 955.
- SAS INSTITUTE (2000) *Statistics Users Guide, Statistical Analysis System*, 5th edn, 8.2 version, Carry, NC: SAS Institute Inc.
- SCHAIBLE P.J., MOORE L.A. & MOORE J.M. (1934) Gossypol, a cause of discolorations in egg yolks. *Poultry science* : **79**, 372 pp
- SCHMIDELY, P. & SAUVANT, D. (2001) Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : Effets de l’apport de matière grasse ou d’aliment concentré. *INRA Production Animale*, **14**(5): 337 – 354.



- SEKHAR-REDDY, P., SUDHAKAR, R.P., SATYANARAYANA, R.P.V.V. & SRINIVASA, R.D. (1998) Influence of cottonseed cake on the performance of broilers. *Indian Journal of Animal Nutrition*, **15**: 188 – 193.
- SHARMA, N.K., LODHI, G.N. & ICHHPONANI, J.S. (1978) Cottonseed cake a potential source of vegetable protein for poultry: A review. *Indian Journal of Animal Nutrition*, **48** : 132 – 140.
- SUNILKUMAR, G., CAMPBELL, L.M., PUCKHABER, L., STIPANOVIC, R.D. & RATHORE, K.S. (2006) Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **103**: 18054 - 18059.
- TOWNSEND T. (2008) Situation et perspectives du coton. Groupe des produits tropicaux, <http://www.ifap.org/fr/about/documents/CongresMondialAgriculteurs/SituationPerspectivesCoton.pdf>, Consulté le 09/11/2009.
- VROH-BI, I., BAUDOIN, J.P., HAU, B. & MERGEAI, G., (1999) Development of high-gossypol cotton plants with low-gossypol seeds using tri-species bridge crosses and in vitro culture of seed embryos. *Euphytica*, **106**: 243 – 251.
- WIERNUSZ, C.J. & TEETER, R.G. (1998) Feeding effects on broiler thermobalance during thermoneutral and high ambient temperature exposure. *Poultry Science*, **72**: 1917 – 1924.
- WILLARD, S.T., NEUENDORF, D.A., LEWIS, A.W. & RANDEL, R.D. (1995) Effect of free gossypol in the diet of pregnant and postpartum brahman cows on calf development and cow performance. *Journal of Animal Science*, **73**: 496 – 507.
- WALDROUP, P.W. & GOODNER, T.O. (1973) Tolerance levels of free gossypol in layer diets as influenced by iron: gossypol ratios. *Poultry Science*, **52**: 20 – 28.
- WATKINS, S.E., SKINNER, J.T., ADAMS, M.H. & WALDROUP, P.W. (1993) An evaluation of low-gossypol cottonseed meal in diets for broilers chickens: Effect of cottonseed meal level and lysine supplementation. *Journal of Applied Poultry Research*, **2**: 221 – 226.
- WATKINS, S.E., SALEH, E.A. & WALDROUP, P.W. (2002) Reduction in dietary nutrient density aids in utilization of high protein cottonseed meal in broiler. *Journal of Applied Poultry Research*, **1**: 53 – 58.
- WEN-JU, Z., ZI-RONG, X., JIAN-YI, S. & XIA, Y. (2006) Effect of selected fungi on the reduction of gossypol levels and nutritional value during solid substrate fermentation of cottonseed meal. *Journal of Zhejiang University Science*, **7**: 690 – 695.

**Table 1.** Composition of the starting and growing diets of broilers which received groundnut cake or cottonseed kernel (delipidated or undelipidated) as main protein source, and groundnut or cotton oil as main lipid source

Items	Starting diets				Growing diets			
	Groundnut		Cottonseed		Groundnut		Cottonseed	
Main protein source	Ground.	Cotton	Ground.	Cotton	Ground.	Cotton	Ground.	Cotton
Main lipid source	GPGL <sup>1</sup>	GPCL <sup>2</sup>	CPGL <sup>3</sup>	CPCL <sup>4</sup>	GPGL <sup>1</sup>	GPCL <sup>2</sup>	CPGL <sup>3</sup>	CPCL <sup>4</sup>
Groups	GPGL <sup>1</sup>	GPCL <sup>2</sup>	CPGL <sup>3</sup>	CPCL <sup>4</sup>	GPGL <sup>1</sup>	GPCL <sup>2</sup>	CPGL <sup>3</sup>	CPCL <sup>4</sup>
<b>Ingredients (g/kg)</b>								
Corn	350.0	450.0	455.0	455.0	400.0	430.0	400.0	435.0
Millet	200.0	115.0	100.0	100.0	215.0	205.0	220.0	200.0
Groundnut cake	250.0	250.0	0.0	0.0	250.0	250.0	0.0	0.0
Cottonseed kernel	0.0	0.0	0.0	250.0	0.0	0.0	0.0	250.0
Cotton cake	0.0	0.0	250.0	0.0	0.0	0.0	250.0	0.0
Fish by-product meal	100.0	90.0	95.0	130.0	35.0	25.0	30.0	60.0
Tricalcium phosphate	2.4	2.4	2.4	2.4	2.5	2.5	2.5	2.5
Groundnut oil	45.0	0.0	45.0	0.0	45.0	0.0	45.0	0.0
Cotton oil	0.0	40.0	0.0	10.0	0.0	35.0	0.0	0.0
L-Lysine HCl (99%)	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.5
DL-Methionine (98%)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Vitamin-mineral premix <sup>5</sup>	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
<b>Chemical composition</b>								
ME (MJ/kg)	13.8	13.9	13.8	13.5	13.9	13.9	13.7	12.9
Dry matter (g/kg)	917.6	926.8	923.7	916.1	928.7	928.1	923.7	923.7
Crude protein (g/kg)	236.3	236.9	236.6	237.2	200.3	198.4	201.5	197.8
Crude fat (g/kg)	107.8	94.2	91.2	106.5	105.1	99.2	106.9	70.8
Crude fiber (g/kg)	48.2	37.4	42.9	58.9	38.5	40.5	35.1	59.5
Ash (g/kg)	126.0	133.3	123.2	120.4	102.1	100.6	130.2	98.1
Non nitrogen extract (g/kg)	481.7	498.2	506.1	477.0	585.2	585.0	552.8	588.9
Lysine (g/kg)	13.5	13.0	13.3	15.1	10.9	10.5	10.9	12.5
Methionine (g/kg)	6.3	6.0	6.3	6.8	5.4	5.3	5.6	6.0
Ca (g/kg)	20.5	19.9	20.3	22.1	17.2	16.7	17.1	18.6
available P (g/kg)	5.3	5.0	8.3	9.2	3.7	3.4	6.6	7.4

<sup>1</sup>GPGL : Groundnut Protein and Groundnut Lipid ; <sup>2</sup>GPCL : Groundnut Protein and Cotton Lipid; <sup>3</sup>CPGL : Cotton Protein and Grandnut Lipid;

<sup>4</sup>CPCL : Cotton Protein and Cotton Lipid

<sup>5</sup>Macro-vetamix 5% (Vetagrophaarma technology) which provided (per kg of premix): Ca. 250 g; P. 49; NaCl. 33; Mn. 1.4 g; Zn. 1.2 g; Fe. 1.4 g; Cu 0.2 g; I. 8 ppm; Co. 2 ppm; Se. 2.8 ppm; vitamin A. 250.000 IU; vitamin D<sub>3</sub>. 50.000 IU; vitamin E. 290 mg; vitamin B1. 55 mg; vitamin B2. 100 mg; vitamin B3. 480 mg; vitamin B5 195 mg; vitamin B6. 55 mg; vitamin B12. 600 µg; vitamin K3. 50 mg; folic acid vitamin. 27 mg; vitamin C. 175 mg; H biotin vitamin. 600 µg; Lysine HCl. 5%; Methionine. 3% ; PB. 9.2% ; MG. 0.9%.

**Table 2.** Performances of broilers which received groundnut cake or cottonseed kernel (delipidated or undelipidated) as main protein source, and groundnut or cotton oil as main lipid source

	BW <sup>1</sup> (g)			ADG <sup>2</sup> (g)		CFI <sup>3</sup> (g)		FCR <sup>4</sup>	
	d01	d21	d43	SP <sup>5</sup>	GP <sup>6</sup>	d21	d43	SP <sup>5</sup>	GP <sup>6</sup>
<b>Protein source</b>									
Groundnut protein	42.4	657.6	1463.4	29.3	38.4	1013	3288	1.54	2.74
Cotton protein	42.3	781.5	1649.8	35.2	41.3	1098	3527	1.38	2.74
<b>Lipid source</b>									
Groundnut lipid	42.7	721.4	1580.6	32.3	40.9	1064	3476	1.46	2.75
Cotton lipid	42.1	717.8	1532.6	32.2	38.8	1047	3340	1.46	2.73
<b>Protein source x Lipid source</b>									
Groundnut protein x Groundnut lipid	42.9	666.5b	1463.2c	29.7	37.9	1012	3238	1.51	2.71
Groundnut protein x Cotton lipid	41.9	648.8b	1463.6c	28.9	38.8	1014	3339	1.56	2.77
Cotton protein x Groundnut lipid	42.4	776.3a	1698.1a	34.9	43.9	1115	3714	1.41	2.79
Cotton protein x Cotton lipid	42.2	786.8a	1601.6b	35.5	38.8	1081	3340	1.35	2.69
<b>Pr &gt; F</b>									
Protein source	0.091	<0.001	<0.001	-	-	-	-	-	-
Lipid source	0.186	0.606	0.880	-	-	-	-	-	-
Protein source x Lipid source	0.558	<0.001	<0.001	-	-	-	-	-	-
SEM	0.60	13.80	31.77	-	-	-	-	-	-

<sup>1</sup>BW : Body weight, <sup>2</sup>ADG : Average daily gain, <sup>3</sup>CFI : Cumulative feed intake, <sup>4</sup>FCR : Feed conversion ration, <sup>5</sup>SP : Starting period, <sup>6</sup>GP : Growing period

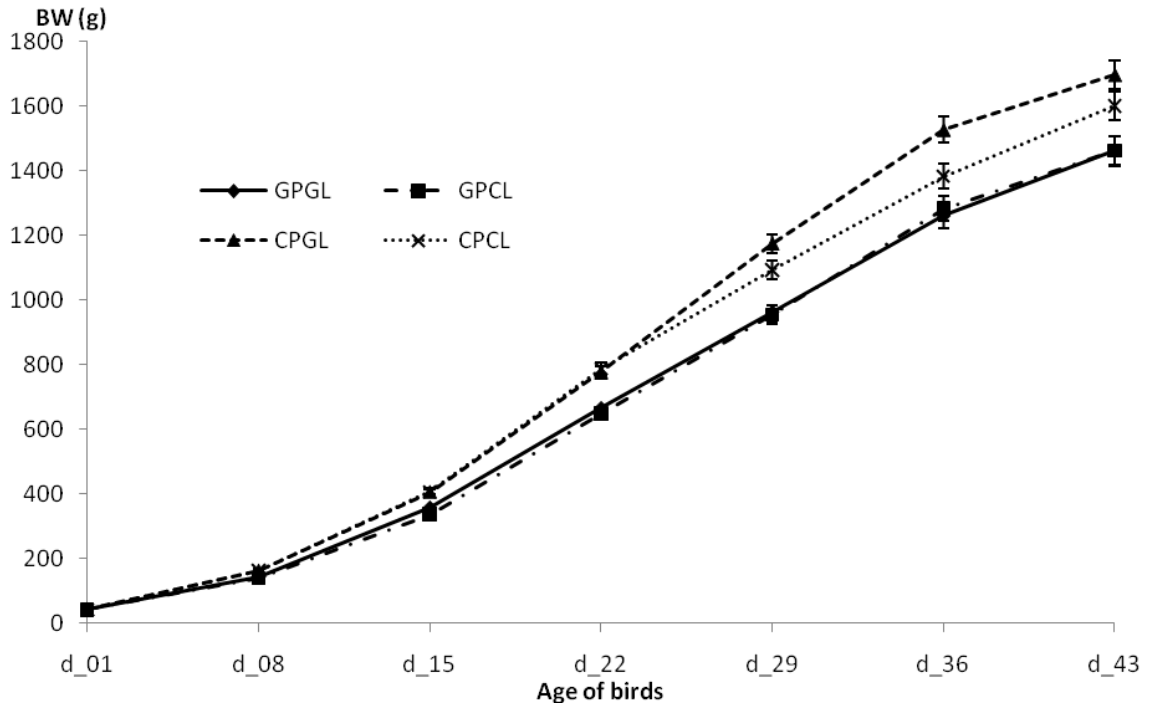
**Table 3.** Nutrient digestibility (g/kg) of broilers which received groundnut cake or cottonseed kernel (delipidated or undelipidated) as main protein source, and groundnut or cotton oil as main lipid source

	Starting diets					Growing diets				
	DM <sup>1</sup>	OM <sup>2</sup>	Ash	EE <sup>3</sup>	CP <sup>4</sup>	DM <sup>1</sup>	OM <sup>2</sup>	Ash	EE <sup>3</sup>	CP <sup>4</sup>
<b>Protein source</b>										
Groundnut protein	569.1	642.2	692.6	847.9	609.9	615.6	645.7	653.1	936.0	677.6
Cotton protein	535.1	625.8	619.5	819.9	602.7	592.1	628.9	619.6	865.4	544.7
<b>Lipid source</b>										
Groundnut lipid	565.5	618.7	636.1	849.6	628.4	579.6	596.2	631.6	929.3	606.1
Cotton lipid	538.7	649.3	676.0	818.2	584.2	628.1	678.4	641.1	872.0	619.2
<b>Protein source x Lipid source</b>										
Groundnut protein x Groundnut lipid	577.9a	619.9	649.1b	860.4	600.0	605.5	596.6b	677.4a	954.7a	699.7
Groundnut protein x Cotton lipid	560.3ab	664.6	736.0a	835.4	619.8	625.8	694.9a	628.9bc	917.4ab	655.5
Cotton protein x Groundnut lipid	553.1ab	617.6	623.0b	838.8	656.8	553.8	595.9b	585.8c	904.0b	512.6
Cotton protein x Cotton lipid	517.1b	634.0	616.0b	801.0	548.6	630.5	661.9a	653.4ab	826.7c	582.9
<b>Pr &gt; F</b>										
Protein source	0.022	0.563	0.001	0.401	0.817	0.440	0.378	0.005	0.004	0.109
Lipid source	0.061	0.290	0.026	0.348	0.173	0.125	0.001	0.550	0.013	0.534
Protein source x Lipid source	0.020	0.567	0.003	0.436	0.211	0.649	0.041	0.049	0.032	0.173
RSD	28.9	61.8	35.1	71.9	68.2	65.8	41.2	34.8	42.0	76.3

<sup>1</sup>DM: Dry matter, <sup>2</sup>OM: Organic matter, <sup>3</sup>EE: Ether extract, <sup>4</sup>CP: Crude protein

**Table 4.** Animal performances and carcass characteristics of broilers which received groundnut cake or cottonseed kernel (delipidated or undelipidated) as main protein source, and groundnut or cotton oil as main lipid source

	Weights (g)					Proportions (%)			
	Live	Carcass	Breast	Thigh	Wing	Dressing	Breast/ Carcass	Thigh/ Carcass	Wing/ Carcass
<b>Protein source</b>									
Groundnut protein	1731	1223	328	348	122	70.61	26.73	28.60	9.98
Cotton protein	2024	1468	416	412	137	72.48	28.30	28.03	9.36
<b>Lipid source</b>									
Groundnut lipid	1850	1337	360	387	126	72.09	26.79	28.98	9.49
Cotton lipid	1905	1354	383	373	133	71.00	28.24	27.64	9.85
<b>Protein source x Lipid source</b>									
Groundnut protein x Groundnut lipid	1644c	1164c	307b	337c	113	70.70	26.30	29.07	9.78
Groundnut protein x Cotton lipid	1818b	1282c	348b	360bc	131	70.53	27.16	28.13	10.19
Cotton protein x Groundnut lipid	2056a	1511a	413a	437a	139	73.48	27.28	28.90	9.21
Cotton protein x Cotton lipid	1993a	1426b	419a	387b	134	71.48	29.33	27.16	9.52
<b>Pr &gt; F</b>									
Protein source	0.049	0.033	0.040	0.016	0.123	0.012	0.043	0.232	0.264
Lipid source	0.336	0.707	0.256	0.315	0.462	0.119	0.059	0.010	0.515
Protein source x Lipid source	0.001	<0.001	0.009	0.055	0.788	0.335	0.144	0.118	0.859
SEM	79.01	61.61	28.03	19.32	9.82	0.61	0.67	0.43	0.50



**Figure 1.** Evolution of live weight of of broilers which received groundnut cake or cottonseed kernel (delipidated or undelipidated) as main protein source, and groundnut or cotton oil as main lipid source

## **Influence de la source principale de protéines et de lipides dans des régimes à base de sous produits d'arachide et de coton sur les performances individuelles et la composition en acide gras des muscles et de la graisse de poulets au Sénégal**

Article 6 – Soumis sur *Biotechno. Agron. Soc. Environ.*

**Diaw Mamadou Tandiag, Dieng Abdoulaye, Mergeai Guy, Hornick Jean-Luc**

### **Résumé**

Une étude pour discriminer les effets liés aux protéines et aux lipides de coton sur les performances individuelles et la composition en acide gras des muscles et de la graisse abdominale a été conduite en production de poulets. Un dispositif orthogonal associant la présence de fèves de coton sans gossypol ou de tourteau d'arachide à de l'huile de coton sans gossypol ou de l'huile d'arachide a été utilisé. La présence de sous-produits de fèves de coton, en particulier ceux riches en protéines, a amélioré la consommation alimentaire et les performances pondérales des poulets. Les traitements expérimentaux n'ont pas modifié les teneurs en lipides de la viande mais les teneurs en AGPI ont augmenté avec les produits de coton riches en protéines. Les lipides de coton n'ont pas modifié les teneurs en AGPI mais ont entraîné une augmentation des contributions absolue et relative des AGS et une diminution de celles des AGMI dans le muscle et dans les graisses. Ces résultats suggèrent une appétence de la volaille pour les sous-produits de fèves de coton sans gossypol et une réaction métabolique différenciée des animaux vis-à-vis des familles d'acides gras, qui pourraient expliquer les effets positifs observés sur les performances zootechniques.

**Mots clés :** Lipides, Protéines, Coton, Arachide, Acides gras, Performances, Poulets

### **Summary**

A study has been conducted on broilers production to discriminate the effects of proteins and lipids on individual performances and fatty acids composition of meat and fat. An orthogonal design associating the use of glandless cottonseed kernels or groundnut cake and glandless cotton oil or groundnut oil has been used. Cottonseed kernel by-products, i.e., those rich in proteins, improved feed intake and animal performance. Experimental treatments did not alter meat lipids concentration but PUFA levels increased with cotton protein by-products. By contrast, cotton lipids did not influence PUFA but respectively increased and decreased absolute and relative SFA and MUFA levels in meat and fats. Those results suggest a high palatability of cottonseed kernel by products for broilers and specific metabolic behaviors with regard to fatty acid families, explaining the positive effects observed on animal performances.

**Keys words:** Lipids, Proteins, Cotton, groundnut, Fatty acid, Performances, Broilers

## 1. Introduction

Les sous-produits du coton sont généralement évités en production aviaire en raison de la présence de facteurs antinutritionnels, en particulier le gossypol, auxquels la volaille est très sensible (Diaw *et al.*, 2010). La fève de coton exempte de glandes à gossypol (variété dite « glandless ») se révèle toutefois être appréciée et avoir une bonne valeur alimentaire pour le poulet (Yo, 1991). Les fèves de coton sont très riches en huile, à hauteur d'environ 37 % (Diaw *et al.*, 2009), dont près de 58% sont représentés par de l'acide linoléique (C18 :2 n-6) (Sontag, 1979).

Dans des conditions normales de température, l'ajout d'acides gras dans la ration de poulets n'a qu'une influence modérée sur la quantité de lipides déposés (Lessire, 2001) mais elle peut toutefois modifier significativement la composition de la graisse (Scaife *et al.*, 1994 ; Hrdinka *et al.*, 1996 ; Lopez-ferrer *et al.*, 1999 ; Cortinas *et al.*, 2004).

En conditions de températures extrêmes, Diaw *et al.* (2009) ont offert à des poulets des fèves de coton sans gossypol, en substitution de tourteau et d'huile d'arachide. Ils ont observé de meilleures performances des animaux ayant reçu les fèves, et un rapprochement partiel des profils en acides gras des muscles et de la graisse de celui de l'huile de coton. L'étude n'a pas permis de discriminer le rôle de la fraction protéique ou lipidique de la fève de coton « glandless » sur les effets obtenus.

La présente étude a donc été conduite pour évaluer les effets spécifiques de la fraction protéique et lipidique de la fève de coton « glandless », en substitution du tourteau et de l'huile d'arachide, sur les performances individuelles et la composition en acide gras de la graisse abdominale et des muscles pectoraux de poulets.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Production de la fève de coton et processus de trituration

Les graines de coton utilisées dans cet essai ont été produites à la station expérimentale de l'ENSA de Thiès (Sénégal) à partir de variétés « glandless » (GL7). Après égrenage, elles ont été broyées au moulin conventionnel avec un tamis de maille 0,7 cm qui a permis, après tamisage, de récupérer la fève de coton (FC).

Une partie de cette fève a subi une extraction lipidique en deux étapes. La fraction a d'abord été imbibée et mélangée dans un double volume d'hexane. Après un séjour de 12 heures, elle a été essorée et séchée à l'abri de la lumière pour éviter les phénomènes d'oxydation. Une mini-presse industrielle a ensuite été utilisée pour obtenir un tourteau dont la teneur finale en extrait éthérée (EE) a atteint 13%. L'huile totale récoltée a été préservée.



## **2.2. La conduite de l'essai**

Des poussins non-sexé d'un jour, de souche Cobb 500, ont été acquis et répartis en quatre lots constitués chacun de deux répétitions de 50 sujets. Au niveau de chaque groupe, les animaux ont reçu une ration spécifique formulées pour un niveau d'énergie de 3200 Kcal et, conformément aux recommandations de la NRC (1994), des teneurs en protéines de 23,7 et 20,3% pour respectivement les aliments démarrage et croissance.

Un aliment témoin contenant 25% de tourteau d'arachide et 4,5% d'huile d'arachide a été préparé (ration PALA, Protéine Arachide et Lipide Arachide). Dans une seconde formule, l'huile d'arachide a été totalement remplacée par l'huile de coton à hauteur de 3,5 à 4% dans la ration selon la phase de croissance (ration PALC, Protéine Arachide et Lipide Coton). La fève de coton déshuilée a été utilisée comme principale source de protéine dans une troisième formule, en remplacement du tourteau d'arachide. Dans cette ration, les lipides ont été principalement apportés par l'huile d'arachide à hauteur de 4,5% dans la ration (ration PCLA, Protéine Coton et Lipide Arachide). Une quatrième formule a été élaborée sur la base de la fève de coton non-délipidée comme principale source de protéines. Cette ration a été complétée avec l'huile de coton à hauteur de 1 à 0 % dans la ration selon la phase de croissance (ration PCLC, Protéine Coton et Lipide Coton). Le dispositif expérimental n'a pu être totalement orthogonal sur les effets du type d'huile étant donné le fait que les deux tourteaux présentaient des teneurs résiduelles en lipides (respectivement de l'ordre de 13 et 10% dans le tourteau d'arachide et le tourteau de coton).

Après 21 jours d'élevage en claustration au sol, 10 sujets ont été choisis au hasard au niveau de chaque lot. Des bagues de couleurs spécifiques à chaque groupe et numérotées de 1 à 10 ont été utilisées pour le suivi des performances individuelles du jour 22 à l'âge d'abattage. La distribution de l'aliment s'est faite de façon ad libitum avec un suivi journalier de la prise alimentaire au niveau de chaque groupe. Des pesés hebdomadaires ont été effectués sur l'ensemble des animaux jusqu'à la fin de l'essai (50<sup>ème</sup> jour).

A la fin de la période expérimentale, les animaux ont été abattus par dislocation cervicale et éviscérés. Des prélèvements de graisse abdominale et de muscle pectoral superficiel ont été effectués pour déterminer la composition en acide gras de la graisse et de la viande.

## **2.3. Analyses chimiques**

La détermination de la composition en acide gras des lipides des muscles et graisses a été faite par chromatographie en phase gazeuse (CPG) après extraction et trans-estérification des acides gras par la méthode de Sukhija et Palmquist (1988). Pour cela, les esters méthyliques des acides gras ont été préparés par méthanolyse acide en une seule étape (saponification et méthylation) avec l'emploi de

solvant contenant du méthanol, du benzène et du chlorure d'acétyl. Le chromatographe utilisé (Chrompack CP 9001) est muni d'un système d'injection automatique et d'un détecteur à ionisation de flamme (Chrompack, Middelburg, Netherlands). La phase stationnaire de la colonne capillaire (30 m de longueur x 32 mm de diamètre intérieur) est la silice fondue à 320 omegawax (Supelca, Bellefonte, USA) constitué de poly-bis-cyanopropylsiloxanne. La température du four a été programmée de 120 à 240°C à raison de 5°C/min. La température de l'injecteur et du détecteur a, respectivement, été de 250 et 260°C. L'injection a été effectuée automatiquement en mode split avec un rapport de 1 : 25. Le logiciel Alltech Allchrome Plus Chromatography Data System Version 1.4.2.1 (Alltech Association Inc., Lokeren, Belgique) a été utilisé pour la lecture des données. Les pics ont été identifiés d'après leurs temps de rétention et par comparaison aux standards (Supelco 37 Component FAME Mi, Sigma-Aldrich, Bornem, Belgium).

La composition chimique des aliments utilisés lors de la formulation a été déterminée selon les méthodes AOAC (1995) : matière sèche, MS, méthode n° 934.01 ; matière organique, MO, méthode n° 942.05 ; extrait étheré, EE, méthode n° 920.39 ; fibre brute, FB, méthode n°978.10 ; cendre, Ce, méthode n° 942.05. La protéine brute (PB) a été déterminée par la méthode Kjeldahl avec le dosage de l'azote (N x 6,25). L'énergie métabolisable (EM) a été calculée par méthode indirecte avec l'utilisation de l'équation suivante pour l'EM vraie (INRA, 1984) :

EM vraie (en Mj / kg MS) = (3951 + 54,4 x EE – 88,7 x FB – 40,8 x Ce) x 0,004184 ; où EE, FB et Ce sont exprimés en pourcentages de l'aliment.

#### 2.4. Analyse des données

Les gains quotidiens moyens (GQM), l'ingestion et l'indice de consommation (IC) ont fait l'objet d'une simple statistique descriptive. Les données relatives aux poids vifs des animaux et aux acides gras ont été analysés à l'aide d'un modèle généralisé linéaire (Proc GLM, SAS, 2000). L'effet de la répétition s'est avéré non significatif et finalement le modèle suivant a été utilisé :

$$Y = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Où

$\mu$ : moyenne générale

$\alpha_i$  : effet de la source de protéines (arachide vs coton)

$\beta_j$  : effet de la source de lipides (arachide vs coton)

$\alpha\beta_{ij}$  : effet de l'interaction entre les sources de protéines et de lipides

$\epsilon_{ijk}$ : effet résiduel aléatoire

### 3. Résultats

Les poids vifs moyens des poulets ont été significativement affectés par la source de protéine des aliments ( $p < 0,001$ ) et par l'interaction ( $p < 0,05$ ). La source de lipide n'a pas eu d'effets sur les poids des animaux.

Les animaux ayant reçu les aliments à base de protéine de coton ont présenté les meilleurs poids vifs finaux, en particulier avec l'aliment PCLA où les poulets pesaient plus de 2 kg. Les aliments à base de tourteau d'arachide ont donné un poids moyen proche de 1,7 kg. Les poids vifs moyens enregistrés chez les animaux du groupe PCLC ont été intermédiaires et ont avoisiné 1,9 kg (Tableau 1).

Des observations similaires ont été faites sur les GQM avec des croûts moyens avoisinant 41 g/j contre 37 g/j pour respectivement les aliments de types PC et PA. Au total, les performances de croissance ont tendu à être ou ont été significativement inférieures dans le groupe PALA, respectivement vis-à-vis du groupe PALC et des groupes PC.

La consommation alimentaire a été plus importante en présence de protéines de coton. L'huile de coton a eu également un effet positif sur la consommation alimentaire chez les animaux qui ont reçu le tourteau d'arachide mais un effet inverse chez les autres. Les traitements ont eu peu d'effets sur l'efficacité alimentaire qui est restée très proche de 3 mais inférieure avec les rations de type PC (Tableau 1). Une corrélation de 98,7% a été observée entre la consommation alimentaire et la vitesse de croissance, exprimés en termes de moyennes de groupes.

Les traitements n'ont eu aucun effet sur les teneurs en acides gras totaux dans la viande, ainsi que sur les teneurs en acides gras saturés (AGS), bien que celles en C18 :0 aient été inférieures dans les muscles d'animaux ayant reçu de l'huile d'arachide ( $P < 0,05$ ). Les effets des traitements ont cependant été significatifs sur les concentrations en acides gras mono insaturés (AGMI), les teneurs diminuant de façon additive avec l'apport d'huile de coton et de la source protéique de coton (Tableau 2). Ces effets ont reflété ceux observés dans les familles d'acides gras mono-insaturés notamment la C16 :1 n-7, C18 :1 n-9/n-7 et C20 :1 n-9, le C18 :1 jouant un rôle majeur du fait de sa très forte proportion dans la fraction AGMI. Seuls les effets du type de protéine ont été observés sur les teneurs en acides gras poly-insaturés (AGPI) et sur la somme des acides gras de type n-6, les rations à base de protéines de coton montrant, de manière surprenante, des teneurs plus élevées. Ces effets ont principalement été dus à ceux observés sur la fraction C18 :2 n-6, du fait de sa forte proportion dans la fraction AGPI. Les effets sur les autres acides gras de la famille n-6 ont été variables et non systématiquement similaires à ceux observés sur les C18 :2 n-6. La fraction C18 :3 n-3 et la somme des acides gras de type n-3, quant à eux, ont été influencés négativement par les lipides de coton ( $P < 0,05$ ). Les teneurs en C22 :5n-3 ont cependant été favorisées par l'incorporation de protéines de coton

( $P < 0,001$ ). Les effets sur les différents rapports calculables ont été variables, les rapports des différentes fractions insaturées sur la fraction saturées diminuant généralement avec l'incorporation de produits du coton, à l'opposé des rapports AGPI/AGMI et n-6/n-3, ce dernier ayant été très sensible à l'incorporation d'huile de coton (Tableau 2).

Les proportions d'AGS dans les lipides des muscles et des graisses ont fortement augmenté avec l'apport de lipides de coton. L'incorporation de fèves de coton délipidées a eu le même effet, par comparaison à la ration PALA. Cet effet s'est reflété au niveau de la plupart des acides gras saturés individuels, dans les deux types de graisses, mais de manière généralement non significative dans la graisse musculaire, excepté pour le C18 :0 (Tableau 3). L'influence des types de lipides et de protéines ainsi que de leur interaction a également été observée sur les AGMI et en particulier sur la C18 :1 n-9/n-7. Leur évolution s'est faite en sens inverse des AGS avec une diminution additive suivant le nombre de sources de coton incorporées. Les proportions d'AGPI n'ont pas été influencées par la source lipidique, mais par la source protéique, les valeurs étant supérieures avec la protéine de coton ( $p < 0,001$ ). Dans la graisse abdominale, un effet d'interaction sur les AGPI a été observé, l'effet d'enrichissement étant particulièrement important lorsque la fève de coton non délipidée a été distribuée. Des effets similaires ont été observés au niveau des acides gras n-6 et en particulier du C18 :2 n-6. Les acides gras de la série des n-3, en particulier le C18 :3 n-3, ont vu leurs proportions diminuer suite à l'incorporation de lipides de coton. Les effets sur le C22 :5 n-3 ont été variables, les valeurs diminuant seulement chez les animaux PALC (Tableau 3).

#### 4. Discussion

Un effet positif et significatif des protéines de coton sur les poids vifs des poulets a été observé. En 2009, Diaw *et al.* avaient utilisé la fève de coton non délipidée exempte de glandes à gossypol en remplacement du tourteau d'arachide et avaient observé une amélioration des performances pondérales des poulets de façon proportionnelle au niveau de substitution. Toutefois, l'expérience posait la question de savoir si l'effet était dû à la fraction protéique, à la fraction lipidique, ou à une combinaison des deux, la substitution ayant opéré sur les deux fractions. Dans l'expérience actuelle, les meilleures performances semblent essentiellement attribuables à la fraction protéique, l'effet du type d'huile n'ayant pas été significatif. Il faut remarquer qu'il n'a pas été possible, dans le cadre de cet essai, d'éliminer totalement les sources de lipides de coton dans la ration PCLA, le tourteau délipidé contenant encore 13% d'EE. L'orthogonalité des effets de l'huile et des protéines n'a donc pas été complète. Il n'est pas exclu qu'une partie des effets sur les performances zootechniques attribués aux protéines de coton puissent l'être aux lipides également.

L'huile de coton s'est révélée avoir un léger effet négatif sur l'ingestion mais une meilleure appétibilité liée aux protéines de coton a été mise en évidence. La corrélation étant élevée entre la

prise alimentaire et la vitesse de croissance, les effets des traitements sur les performances de croissance sont essentiellement attribuables à un phénomène de motivation à manger des animaux. Le niveau énergétique des rations peut influencer la consommation (Lessire, 2001) mais dans le cadre de cet essai, il a été presque identique entre les rations. Les effets de l'ingestion sur les performances doivent toutefois être relativisés dans la mesure où ils ne se sont pas accompagnés de nettes différences de conversion alimentaire, les rations de type PC étant toutefois supérieures.

Ces avantages liés à la fraction protéique du coton peuvent être associés aux profils d'acides aminés. Le coton glandless étant exempt de gossypol, la lysine est en effet disponible pour l'animal. Dans le tourteau de coton, des teneurs en lysine totale de 1,9 et 2,3% ont respectivement été rapportées par Reid *et al.* (1984) et Ryan *et al.* (1986), contre 1,5 à 1,6% rapportés par Sauvante *et al.* (2004) pour le tourteau d'arachide. Dans la fève de coton utilisée présentement, la teneur en lysine a été de 1,95%. Ces résultats laissent supposer une valeur biologique plus importante des protéines de coton, contribuant ainsi à de meilleures performances de croissance et de meilleures conversions alimentaires.

Il est remarquable de constater que les rations contenant au moins un produit issu du coton se sont révélées donner des meilleurs résultats que la ration PALA. L'effet significatif d'interaction observé entre les facteurs protéine et huile sur le poids final des animaux a été maintenu lorsque les poids en début de période de croissance ont été utilisés comme covariable ( $P < 0,0065$ ). Cela peut s'expliquer par un effet cumulatif négatif lié à la distribution exclusive de protéines et de lipides de coton dans la ration PCLC, ou par le fait que l'huile de coton n'avait pas été préalablement extraite des fèves de coton dans cette ration, sa biodisponibilité pouvant ainsi avoir été réduite. Toutefois, cette dernière hypothèse n'est pas en accord avec les résultats de composition chimique des lipides tissulaires.

La quantité de gras abdominal n'a pas été déterminée dans cette étude. Il est donc impossible de préciser si les traitements appliqués ont eu un effet sur la quantité totale de gras déposée. Plusieurs auteurs ont cependant rapporté que les variations de composition en acides gras d'aliment iso-énergétiques ne modifiaient pas les quantités de graisse abdominale déposée (Sanz, 1999 ; 2000a ; Crespo et Esteve-Garcia, 2001 ; 2003 ; Cortinas *et al.*, 2004 ; Boudrou *et al.*, 2006).

Les teneurs en acide gras totaux des muscles n'ont pas différencié selon les traitements et ont été en moyenne de 38,5 g/kg MS, valeur présumée proche de celle des lipides totaux dans les échantillons. Les résultats rapportés dans la littérature sur la quantité de lipides dans les viandes de poulets portent souvent sur la musculature de la carcasse dans sa globalité et montrent de fortes variations. De Almeida *et al.* (2006) ont rapporté des valeurs de 39,3 g/kg MS. Diaw *et al.* (2009), substituant le tourteau d'arachide par la fève de coton, ont obtenu des quantités d'acide gras totaux dans le muscle pectoral superficiel proches de 67g/kg MS. Ces valeurs d'adiposité de la viande restent intéressantes à

étudier car elles permettent d'estimer si des différences d'activité de lipogenèse intramusculaire ont eu lieu. Dans le cadre de cet essai, cela ne semble pas avoir été le cas. Diaw *et al.* (2009) avaient également observé que la substitution partielle du tourteau d'arachide par la fève de coton « glandless » dans des rations iso-énergétiques se traduisait par une augmentation du poids des animaux mais pas des teneurs en graisses musculaires, ces dernières se saturant toutefois avec le niveau de substitution. Dans cet essai, les teneurs en AGS dans le muscle ont tendu à augmenter avec les lipides de coton tandis que les proportions de ces lipides ont fortement augmenté (respectivement  $P < 0,01$  ;  $P < 0,001$ ). Ce phénomène peut être expliqué par le fait que l'huile de coton est plus riche en AGS, en particulier en C16 :0, que celle d'arachide (Sontag, 1979). Un dépôt direct de cet acide gras et son utilisation pour synthétiser des chaînes saturées plus longues est donc vraisemblable lors de distribution de lipides de coton.

Les différences de proportions relatives de familles d'acides gras entre les lipides des muscles pectoraux et les graisses abdominales, notamment la moindre teneur en AGPI dans ces dernières, reflètent la présence de la fraction phospholipidique, davantage présente dans les muscles (Lopez-Ferrer *et al.*, 1999 ; Sanz *et al.*, 1999 ; Sanz *et al.*, 2000b ; Crespo et Esteve-Garcia (2001).) et donc plus étroitement liées aux caractéristiques physiologiques de la membrane, comme rapporté par Pan et Storlien (1993) et Lopez-Bote *et al.* (1997).

S'agissant des AGMI, les variations observées montrent que les rations contenant de l'huile d'arachide conduisent aux teneurs les plus élevées, surtout en l'absence de produits de coton, et l'acide oléique (C18 :1 n-9) expliquant la majeure partie des différences. Des teneurs élevées en acide oléique dans les différents tissus de la carcasse ont été rapportées par Hrdinka *et al.* (1996) et Ajuyah *et al.* (1991). Elles seraient liées à la prédominance de cet acide gras dans de nombreux aliments (Hrdinka *et al.*, 1996), nonobstant le fait que l'animal peut naturellement le synthétiser. L'huile d'arachide étant trois fois plus riche en C18 :1 que les lipides de coton (approximativement 60% vs 20% ; Sontag (1979)), un dépôt direct de cet acide gras dans les tissus (Cassy *et al.*, 2005) a probablement eu lieu et est à l'origine des différences observées.

L'acide oléique (C18 :1) pourrait également avoir été produit par désaturation de l'acide stéarique (C18 :0) sous l'action de la delta-9 désaturase (ou Stéaroyl-CoA désaturase 1). Cette hypothèse est appuyée par le fait que les muscles qui ont les plus fortes teneurs en acide oléique (C18 :1) ont également de plus faibles taux d'acide stéarique (C18 :0). Des résultats similaires ont été rapportés par plusieurs auteurs (Sirri *et al.*, 2003 ; Thiel *et al.*, 1998 ; Du *et al.*, 2000 ; Chamruspollert et Sell, 1999). Il faut noter que les acides gras cyclopropénoïque (acides malvalique et sterculique), très présents dans les graines de cotons, sont de puissant inhibiteur de la delta-9 désaturase (Schmidely et Sauvart, 2001) et peuvent avoir limité la conversion du C18 :0 en C18 :1 dans les rations avec l'huile de coton. La variété de coton qui a été utilisée dans le cadre de cet essai est en effet dépourvue de gossypol mais

aucune mesure n'a été effectuée sur les teneurs en acides cyclopropénoïques. Quoiqu'il en soit, ce processus de conversion du C18 :0 en C18 :1 n-9 n'a probablement pas été dominant, eu égard aux faibles teneurs en C18 :0 observées, comparativement au C18 :1.

Les teneurs et les proportions en AGPI, et en particulier en C18 :2 n-6, dans les muscles et dans la graisse ont, d'une part été beaucoup plus faibles que celles en C18 :1 n-9 et, d'autre part, n'ont pas été influencées par la source de lipides, alors que l'huile de coton est aussi riche en cet acide gras que l'huile d'arachide l'est en C18 :1 n-9. Le fait qu'il n'y ait pas de relation évidente entre les teneurs en C18 :2 n-6 ou en PUFA et les teneurs en C18 :1 n-9 ou en MUFA n'autorisent pas à penser que les animaux aient pu opérer une conversion par saturation d'une famille vers l'autre. L'absence d'effet « ration » et les relativement faibles teneurs en C18 :2 n-6 suggèrent donc que les animaux utilisent davantage cet acide gras pour le catabolisme ou le métabolisme intermédiaire. Diaw *et al.* (2009) avaient déjà émis l'hypothèse que les poulets utilisent préférentiellement les acides gras de type n-6, naturellement très présents dans les grains, afin de couvrir leur besoins énergétiques. Le fait que la composition tissulaire des muscles soit insensible aux teneurs en C18 :2 dans l'alimentation plaide à nouveau en faveur de cette hypothèse et pourrait expliquer que la fève de coton soit particulièrement bien appréciée par le poulet, entraînerait ainsi indirectement l'obtention de meilleures performances zootechniques.

## 5. Conclusion

En production de poulet, la fève de coton exempte de glandes à gossypol, ainsi que ses fractions obtenues par délipidation au solvant, améliorent les performances des animaux en raison de l'appétence liée à ces produits. Chez le poulet, un métabolisme préférentiel de l'acide linoléique est également vraisemblable.

## Remerciements

Ce travail a été financé par la Commission Universitaire au Développement (CUD) de la Belgique à travers le projet portant sur l'amélioration de la rentabilité de la filière cotonnière au Sénégal. Les auteurs remercient cette organisation.

## Références bibliographique

Ajuyah A.O., Lee K.H., Hardin R.T., Sim J.S., 1991. Changes in the yield and in the fatty acid composition of whole carcass and selected meat portions of broiler chickens fed full-fat oil seeds, *Poult. Sci.*, **70**, 2304–2314.

AOAC, 1995. Official Methods of Analysis. 16th rev. ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.

- Bouderou A.K., Selselet-Attou G., Mourot J., 2006. Composition en acide gras et vitamines dans les viandes de poulets de chair nourris aux glands de chêne vert. In : Bouderou A.K., Selselet-Attou G., Mourot J., eds. 11<sup>ème</sup> JSMTV : Clermont, France, 2006, 2p.
- Cassy S., Colline A., Chartrin P., Baeza E., Jago Y., 2005. Métabolisme oxydatif des acides gras et efficacité alimentaire chez les poulets. In : Cassy S., Colline A., Chartrin P., Baeza E., Jago Y., EDS. 6<sup>ème</sup> journée recherche avicole : St Malo, France, 30 -31 Mars 2005, 325–329.
- Chamruspollert M., Sell J.L., 1999. Transfer of dietary conjugated linoleic acid to egg yolks of chickens, *Poult. Sci.*, **78**,1138 – 1150.
- Cortinas L., Villaverde C., Galobart J., Baucells M.D., Codony R., Barroeta A.C., 2004. Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level, *Poult. Sci.*, **83**, 1155-1164.
- Crespo N., Esteve-Garcia E., 2001. Dietary fatty acid profile modifies abdominal fat deposition in broiler chickens, *Poult. Sci.*, **80** ,71–78.
- Crespo N., Esteve-Garcia E., 2003. Polyunsaturated fatty acids reduce insulin and very low density lipoprotein levels in broiler chickens, *Poult. Sci.*, **82**, 1134–1139.
- De Almeida J.C., Perassolo M.S., Camargo J.L., Bragagnolo N., Gross J.L., 2006. Fatty acid composition and cholesterol content of beef and children meat in southern brazil, *Brazilian J. Pharm. Sci.*, **42**, 109–117
- Diaw M.T., Dieng A., Mergeai G., Youssouf I., Dottreppe O., Hornick J-L., 2009. Effect of groundnut cake substitution by glandless cottonseed kernels on broilers production: Animal performance, Nutrient digestibility, Carcass characteristics and fatty acid composition of muscle and fat, *Int. J. Poult. Sci.*, (in press).
- Du M., Ahn D.U., Nam K.C., Sell J.L., 2000. Influence of dietary conjugated linoleic acid on volatile profiles color and meat oxidation of irradiated raw chicken meat, *Meat Sci.*, **56**, 387–395.
- Hrdinka C., Zollitsch W., Knaus W., Lettner F., 1996. Effects of dietary fatty acid pattern on melting point and composition of adipose tissues and intramuscular fat of broiler carcasses, *Poult. Sci.*, **75**, 208–215.
- Lessire M., 2001. Matières grasses alimentaires et composition lipidique des volailles, *INRA Prod. Anim.*, **14**, 365–370.



- Lopez-Bote C.J., Rey A.I., Sanz M., Gray J.I., Buckley D.J., 1997. Dietary vegetable oils and  $\alpha$ -tocopherol reduce lipid oxidation in rabbit muscle, *J. Nutr.*, **127**, 1176–1182.
- Lopez-Ferrer S., Baucells M.D., Barroeta A.C., Grashorn M.A., 1999. N-3 enrichment of chicken meat using fish oil: Alternative substitution with rapeseed and linseed oils, *Poult. Sci.*, **78**, 356–365.
- National Research Council, 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press Washington, DC.
- Pan D.A., Storlien L.H., 1993. Dietary lipid profile is a determinant of tissue phospholipid fatty acid composition and rate of weight gain in rats, *J. Nutr.*, **123**, 512–519.
- Reid B.L., Galaviz-Moreno S., Maiorino P.M., 1984. Comparison of glandless and regular cottonseed meals for laying hens, *Poult. Sci.*, **63**, 1803–1809.
- Ryan J.R., Kratzer F.H., Grace C.R., Vohra P., 1986. Glandless cottonseed meal for laying and breeding hens and broiler chicks, *Poult. Sci.*, **65**, 945–955.
- Sanz M., Flores A., Perez de Ayala P., Lopez-Bote C.J., 1999. Higher lipid accumulation in broilers fed on saturated fats than in those fed on unsaturated fats, *Br. Poult. Sci.*, **40**, 95–101.
- Sanz M., Lopez-Bote C.J., Menoyo D., Bautista J.M., 2000a. Abdominal fat deposition and fatty acid synthesis are lower and  $\beta$ -oxidation is higher in broiler chickens fed diets containing unsaturated rather than saturated fat, *J. Nutr.*, **130**, 3034–3037.
- Sanz M., Flores A., Lopez-Bote C.J., 2000B. The metabolic use of energy from dietary fat in broilers is affected by fatty acid saturation, *Br. Poult. Sci.*, **41**, 61–68.
- Statistical Analysis System, 2000. SAS Institute Inc., Cary, NC
- Sauvant d., Perez J., Tran G., 2004. *Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons (2<sup>ème</sup> Ed.)*. Paris, INRA Edition.
- Scaife J.R., Moyo J., Galbraith H., Michie W., Campbell V., 1994. Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broilers, *Br. Poult. Sci.*, **35**, 107–118.

- Schmidely P., Sauvant D., 2001. Taux butyreux et composition de la matière grasse du lait chez les petits ruminants : Effets de l'apport de matière grasse ou d'aliment concentré, *INRA Prod. Anim.*, **14**, 337–354.
- Sirri F., Tallarico N., Meluzzi A., Franchini A., 2003. Fatty acid composition and productive traits of boiler fed diet containing conjugated linoleic acid, *Poult. Sci.*, **82**, 1356-1361.
- Sontag n.O.V., 1979. Composition and Characteristics of Industrial fats and oils. In Formo M.W., Jungermann E., Norris F.A., Sontag N.O.V., eds. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. Daniel Swern: USA, 289–477.
- Sukhija P.S., Palmquist D.L., 1988. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces, *J. Agric. Food Chem.*, **36**, 1202–1206.
- Thiel R.L., Sparks J.C., Wiegand B.R., Parrish F.C., Ewan R.C., 1998. Conjugated linoleic acids improve performance and body composition in swine. In *Midwestern Section ASAS and Midwest Branch ADSA Meeting, Des Moines, IA. ASAS, Savoy, IL*, 127.
- Yo T., 1991. Utilisation directe de grains de cotons décortiqués de variétés sans gossypol dans l'alimentation des poulets de chair en Côte d' Ivoire. *Rev Elev Med Vet Pays trop*, 44 (3) : 355 – 360.

**Tableau 1** Performances individuelles de poulets ayant reçu du tourteau d'arachide ou de la fève de coton (délipidée ou non-délipidée) comme principale source protéique et de l'huile d'arachide ou de coton comme source lipidique

	Poids vifs moyens (g)		GQM <sup>1</sup> (g)	Ingestion (g)	IC <sup>2</sup>
	J_21	J_50			
<b>Sources de Protéines</b>					
Protéines du tourteau d'arachide (PA)	658	1693	37,0	4334	3,06
Protéines de coton (PC)	782	1962	41,1	4649	2,96
<b>Sources de Lipides</b>					
Lipides de l'huile d'arachide (LA)	721	1854	40,4	4582	2,97
Lipides de l'huile de coton (LC)	718	1801	38,7	4403	2,98
<b>Sources de Protéines x Sources de Lipides</b>					
PA x LA	666b	1667c	35,7	4268	3,13
PA x LC	649b	1718c	38,2	4401	3,01
PC x LA	776a	2040a	45,1	4896	2,84
PC x LC	787a	1883b	39,1	4403	2,94
<b>Pr &gt; F</b>					
Sources de Protéines	< 0,001	< 0,001	-	-	-
Sources de Lipides	0,805	0,949	-	-	-
Sources de Protéines x Sources de Lipides	0,320	0,020	-	-	-
SEM	33,9	99,6	-	-	-

<sup>1</sup>Gain Quotidien Moyen, <sup>2</sup> Indice de consommation

**Tableau 2:** Composition en acide gras (en g / kg.MS) de muscles et graisses abdominaux de poulet ayant reçu du tourteau d'arachide ou de la fève de coton (délipidée ou non-délipidée) comme principale source protéique et de l'huile d'arachide ou de coton comme source lipidique

	Viande							SEM
	PALA <sup>1</sup>	PALC <sup>2</sup>	PCLA <sup>3</sup>	PCLC <sup>4</sup>	P > F			
					Prot	Lip	P*L	
C14	0,11	0,13	0,12	0,15	ns	ns	ns	0,03
C15	2,80	5,56	2,52	6,82	ns	ns	ns	2,45
C16	7,81	8,61	8,38	8,20	ns	ns	ns	1,43
C18	3,25b	4,81a	4,48ab	5,04a	ns	*	ns	0,67
C20	-	-	-	-	-	-	-	-
C16:1n7	0,81a	0,48ab	0,25bc	0,21c	***	ns	**	0,12
C18:1n9/7	15,76a	11,78ab	11,23ab	6,23b	*	*	ns	2,84
C20:1n9	0,21a	0,15ab	0,12ab	0,06b	*	ns	ns	0,05
C18:2n6c	6,90b	7,12b	8,36a	8,48a	ns	ns	*	1,51
C20:2n6	0,13b	0,14b	0,14b	0,21a	**	*	**	0,02
C20:3n6	0,25	0,34	0,21	0,24	ns	ns	ns	0,06
C20:4n6	0,90ab	0,76b	1,04a	0,96ab	*	ns	ns	0,10
C22:4n6	0,17	0,14	0,18	0,18	ns	ns	ns	0,02
C18:3n3	0,18	0,07	0,15	0,06	ns	*	ns	0,05
C22:5n3	0,13a	0,07b	0,14a	0,15a	***	ns	ns	0,01
Somme	39,42	40,17	37,33	36,99	ns	ns	ns	7,29
AGS	13,98	19,11	15,50	20,21	ns	ns	ns	3,46
AGMI	16,78a	12,41a	11,60a	6,49b	*	*	ns	2,99
n6	8,36b	8,50b	9,94a	10,07a	*	ns	ns	1,59
n3	0,31a	0,14b	0,29a	0,21ab	ns	*	ns	0,06
AGPI	8,67b	8,65b	10,23a	10,28a	*	ns	ns	1,64
AGMI/SFA	1,20a	0,70b	0,78b	0,33c	***	***	***	0,13
AGPI/AGS	0,65ab	0,48b	0,67a	0,52ab	ns	*	ns	0,09
AGPI/AGMI	0,55c	0,68c	0,90b	1,60a	***	***	***	0,07
AGI/AGS	1,85a	1,18b	1,47b	0,85b	*	***	*	0,21
N6/N3	29,51c	57,92a	34,84c	47,83b	ns	***	***	3,54

**PALA<sup>1</sup>:** Protéines d'arachide et Lipides d'arachide, **PALC<sup>2</sup>:** Protéines d'arachide et Lipide de coton, **PCLA<sup>3</sup>:** Protéines coton et Lipides d'arachide, **PCLC<sup>4</sup>:** Protéines de coton et Lipides de coton ; Prot : Protéines (Tourteau d'arachide contre Fève de coton déshuilée et non déshuilée), Lip : Lipides (Huile d'arachide contre Huile de coton), P\*L : Protéines\*Lipides ; AGS : Acides gras saturés, AGMI : Acides gras mono-insaturés, AGPI : Acides gras poly-insaturés, AGI : Acides gras insaturés (AGPI + AGMI), N6 : Acides gras de type N6, N3 : Acides gras de type N3 ; ns : p > 0,05 ; \* : 0,05 < p < 0,01 ; \*\* : 0,01 < p < 0,001 ; \*\*\* : p < 0,001

**Tableau 3:** Composition en acide gras (en %) de muscles et graisses abdominaux de poulet ayant reçu du tourteau d'arachide ou de la fève de coton (délipidée ou non-délipidée) comme principale source protéique et de l'huile d'arachide ou de coton comme source lipidique

	Viande								Graisse							
	PALA <sup>1</sup>	PALC <sup>2</sup>	PCLA <sup>3</sup>	PCLC <sup>4</sup>	P > F			SEM	PALA <sup>1</sup>	PALC <sup>2</sup>	PCLA <sup>3</sup>	PCLC <sup>4</sup>	P > F			SEM
					Prot	Lip	P*L						Prot	Lip	P*L	
C14	0,27	0,32	0,32	0,40	ns	ns	ns	0,05	0,54d	0,74b	0,65c	1,03a	***	***	***	0,03
C15	5,82	11,63	6,68	18,06	ns	ns	ns	5,71	-	-	-	-	-	-	-	-
C16	21,75	22,11	22,31	22,20	ns	ns	ns	1,49	21,18c	28,90a	23,94b	29,87a	*	***	***	1,14
C18	9,06b	12,29a	12,06a	13,75a	*	***	*	1,12	5,70d	12,41b	10,53c	15,80a	***	***	***	0,51
C20	-	-	-	-	-	-	-	-	0,16b	0,09c	0,24a	0,15b	***	***	**	0,03
C16:1n7	2,00a	1,32b	0,63c	0,57c	***	*	***	0,19	4,17a	3,04b	1,45c	1,69c	***	ns	***	0,39
C18:1n9/7	38,03a	30,19b	30,03b	16,98c	***	***	***	2,15	49,83a	37,38b	38,91b	23,18c	***	***	***	1,01
C20:1n9	0,49a	0,40ab	0,31b	0,15c	***	*	**	0,07	0,56a	0,38b	0,45b	0,24c	***	***	***	0,03
C18:2n6c	17,48b	17,67b	22,48a	22,87a	***	ns	*	1,58	17,33c	16,80c	23,30b	27,78a	***	*	***	1,26
C20:2n6	0,38b	0,36b	0,39b	0,57a	*	ns	ns	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
C20:3n6	0,78	0,96	0,58	0,67	ns	ns	ns	0,19	-	-	-	-	-	-	-	-
C20:4n6	2,64	2,01	2,92	2,72	ns	ns	ns	0,47	-	-	-	-	-	-	-	-
C22:4n6	0,54	0,37	0,50	0,49	ns	ns	ns	0,11	-	-	-	-	-	-	-	-
C18:3n3	0,39ab	0,18bc	0,40a	0,17c	ns	**	ns	0,10	0,53a	0,26b	0,53a	0,26b	ns	***	***	0,03
C22:5n3	0,37a	0,19b	0,39a	0,41a	*	ns	ns	0,06	-	-	-	-	-	-	-	-
AGS	35,90c	46,36b	41,38bc	54,41a	*	***	**	3,59	27,57d	41,87b	35,36c	46,86a	***	***	***	1,33
AGMI	41,52a	31,91b	30,97b	17,70c	***	***	***	2,25	54,57a	41,06b	40,81b	25,09c	***	***	***	1,02
n6	21,81b	21,36b	26,85a	27,31a	***	ns	ns	1,84	17,33c	16,80c	23,30b	27,78a	***	*	***	1,26
n3	0,76ab	0,37c	0,79a	0,58b	ns	***	**	0,09	0,53a	0,26b	0,53a	0,26b	ns	***	***	0,03
AGPI	22,57b	21,73b	27,65a	27,89a	***	ns	ns	1,88	17,85c	17,06c	23,84b	28,05a	***	ns	***	1,27

**PALA<sup>1</sup>:** Protéines d'arachide et Lipides d'arachide, **PALC<sup>2</sup>:** Protéines d'arachide et Lipide de coton, **PCLA<sup>3</sup>:** Protéines coton et Lipides d'arachide, **PCLC<sup>4</sup>:** Protéines de coton et Lipides de coton ; Prot : Protéines (Tourteau d'arachide contre Fève de coton déshuilée et non déshuilée), Lip : Lipides (Huile d'arachide contre Huile de coton), P\*L : Protéines\*Lipides ; AGS : Acides gras saturés, AGMI : Acides gras mono-insaturés, AGPI : Acides gras poly-insaturés, AGI : Acides gras insaturés (AGPI + AGMI), N6 : Acides gras de type N6, N3 : Acides gras de type N3 ; ns : p > 0,05 ; \* : 0,05 < p < 0,01 ; \*\* : 0,01 < p < 0,001 ; \*\*\* : p < 0,001

## **Chapitre V**

---

### **Discussion générale et perspectives**

## Discussion générale

---

Cette étude a permis de mettre en évidence les limites d'utilisation des graines de coton gossypolé et les possibilités d'incorporation des co-produits de la graine de coton exempt de glandes à gossypol en production de poulets.

### 1. L'emploi du coton conventionnel en production de poulets

Les graines de coton, comme la plupart des graines oléagineuses, ont une valeur nutritive très élevée (El Boushy et Raternick, 1989 ; Nagalakshmi, 1997 ; Sekhar Reddy *et al.*, 1998 ; Diaw *et al.*, 2010a). Leur utilisation en alimentation animale a donc toujours été très étudiée (Brankaert *et al.*, 1968). L'incorporation du tourteau issu de la trituration de ces graines dans les aliments pour animaux monogastrique de façon générale et pour la volaille en particulier s'est presque toujours traduite par une réduction des performances pondérales (Coush *et al.*, 1955 ; Heywang et Bird, 1955 ; Mathur et Ahmed, 1969) et de fortes mortalités consécutives à des lésions internes (Lipstein et Bornstein, 1964 ; Narain *et al.*, 1960). Des résultats similaires ont été observés par Diaw *et al.* (2010b) qui, avec la fève de coton conventionnel en remplacement du tourteau d'arachide, ont enregistré une diminution des poids vifs de façon proportionnelle au niveau de substitution et des mortalités élevées avec les fortes incorporations.

Les effets nocifs du gossypol, présent à des teneurs élevées dans le tourteau de coton conventionnel, ont été rapportés par la plupart des auteurs (Baliga *et al.*, 1959 ; Ferguson *et al.*, 1959 ; Skutches *et al.*, 1973 ; Sharma *et al.*, 1978). Dès 1968, Brankaert et collaborateurs avaient conclu que cet aliment ne pouvait en aucune façon être incorporé dans les mêmes proportions que les tourteaux de soja et d'arachide dans des aliments pour poulets.

Les très faibles performances enregistrées avec la fève de coton (Diaw *et al.*, 2010b) peuvent s'expliquer par le fait que cette dernière, théoriquement moins riche en constituants pariétaux, n'a pas subi de traitements mécanique susceptibles de transformer une partie du gossypol libre (GL) en gossypol lié (non toxique), comme c'est le cas lors du processus de trituration. En effet, parmi les nombreuses méthodes de détoxification du tourteau de coton, les traitements mécaniques et physiques appliqués par exemple lors de la trituration, du broyage et de l'autoclavage, ont une forte potentialité de réduction de la teneur en GL (Wallace et Falconer, 1992 ; Yu *et al.*, 1999 ; Petit *et al.*, 2002 ; Chillard *et al.*, 2001 ; Poncet *et al.*, 2003). Ce dernier forme des liaisons imines stables (bases de Schiff) avec les résidus aminés des protéines et des acides aminés, notamment la lysine (Baliga et Lyman, 1957 ; Baliga *et al.*, 1959 ; Lyman *et al.*, 1959 ; Rahma et Narasingo Rao, 1984). Ces traitements permettent une réduction de la teneur en GL de plus de 60% (Sha *et al.*, 1986 ; Barraza *et*

al., 1991). Henry *et al.* (2001) n'ont ainsi observé aucun effet négatif sur des poulets nourris avec un aliment contenant 20% de tourteau de coton extrudé.

Vraisemblablement, le traitement à l'autoclavage devrait donner de meilleures performances que les tourteaux extrudés. Nos résultats suggèrent l'emploi de la fève de coton conventionnel non traitée à un niveau d'incorporation d'au plus 13%, pour des élevages extensifs, de longue durée. En effet, jusqu'à 43% de substitution, correspondant à une incorporation de 10,75% dans la ration, les mortalités enregistrées restent similaires à un groupe témoin mais augmentent de façon exponentielle au-delà (Diaw *et al.*, 2010b). Ces mortalités pourraient être liées à un dépassement de la capacité de l'animal ou de l'aliment à fixer de manière covalente – via les protéines de l'aliment ou celles présentes dans le tube digestif - le gossypol libre.

Dans les pays en développement, l'aviculture de type villageois contribue de manière importante à la satisfaction de la demande en aliment protéique et permet également à la couche la plus vulnérable de la population (les femmes et les jeunes) de disposer de revenus pour les besoins de santé et de scolarisation des enfants (Arbelot *et al.*, 1997 ; Benfoh *et al.*, 1997 ; Guèye, 1997). Avec de faibles effectifs (5 à 20 sujets par exploitation), les animaux en divagation vivent dans des abris qui, le plus souvent, sont de type artisanal et non-conformes aux normes de bien-être (Traoré, 2006). L'aliment, quand il est distribué, est constitué des restes de repas de familles qui couvrent difficilement les besoins d'entretien des animaux et ne répondent donc jamais à ceux de production.

Dans les zones cotonnières et de façon générale dans les régions où les graines de coton sont disponibles, l'emploi de fèves de coton conventionnel en complément alimentaire chez les volailles pourrait ainsi améliorer les performances zootechniques habituelles, pour autant que les animaux les consomment. Nos travaux ont en effet été menés sur des animaux en claustration qui, d'une part, recevaient des mélanges farineux, où le tri était malaisé, et, d'autre part, n'avaient pas la possibilité de pratiquer la divagation pour trouver des ressources alimentaires alternatives. Des essais de terrain avec la fève de coton distribuée à des animaux libres sont donc nécessaires.

Un autre problème est lié à la reproduction des animaux. On sait que le gossypol a des effets néfastes sur la fertilité (Dechary *et al.*, 1952 ; Jensen *et al.*, 1982 ; Lagerlöf et Tone, 1985) et que les acides gras cyclopropéniques diminuent la viscosité du vitellus (Evans *et al.*, 1960 ; Deutschman *et al.*, 1964). Toutefois, les études de Dongmo *et al.* (1993) tempèrent ces risques. Travaillant sur la reproduction de la volaille *Gallus domesticus*, ils ont observé que l'incorporation de tourteau de coton (à 30%) à la place du tourteau de soja dans l'alimentation des animaux avait, certes, un effet dépressif sur la croissance des jeunes et les paramètres de reproductions des poules (le poids des œufs, l'intensité de ponte, la masse d'œuf exporté, l'efficacité alimentaire), mais que la fertilité n'était toutefois pas affectée. Chez les coqs, la qualité des spermatozoïdes et le volume de l'éjacula n'ont pas



été altérés par l'apport de GL du tourteau de coton. En effet, les besoins du coq reproducteur adulte semblent se limiter quasi à ses besoins d'entretien si bien que la teneur de l'aliment en protéines et acides aminés peut y être largement réduite (par rapport à celle des femelles) sans inconvénient pour la qualité des spermatozoïdes produits. De plus, chez le coq, une légère réduction de la croissance corporelle par restriction alimentaire affecte peu le développement testiculaire à moins que ces restrictions ne soient sévères (Akanbi, 1977).

Au final, les résultats de reproduction étaient comparables à ceux obtenus avec un régime alimentaire normal contenant du tourteau de soja et respectant les recommandations de la NRC (1994). Cependant, dans le système avicole villageois l'alimentation est presque absente et les paramètres de reproductions sont très faibles (Benfoh *et al.*, 1997 ; Arafat, 2002). Autrement dit, l'emploi du coton dans l'alimentation de la volaille *G. domesticus* devraient permettre d'améliorer les performances habituelles, sous réserve des restrictions éthologiques émises ci-dessus.

Le niveau de gossypol dans la fève utilisée par Diaw *et al.* (2010b) a été très élevé (9493 ppm) par comparaison aux valeurs rapportées par Nagalakshmi *et al.* (2007). L'effet dépressif sur la croissance des volailles ne se manifeste qu'à partir de 200 ppm (Burrow et Quinn, 1937 cités par Dongmo *et al.*, 1993 ; Decharry *et al.*, 1952) et une franche toxicité apparaît à partir de 400 ppm (Ahmed *et al.*, 1988). Les teneurs en gossypol dans les graines de coton dépendent de la génétique de la plante (Cass *et al.*, 1991 ; Percy *et al.*, 1996) mais également de la saison de culture et du cycle (Pons *et al.*, 1953 ; Stansbury *et al.*, 1956). Autrement dit, au-delà du traitement, il serait possible dans ces zones d'obtenir de la fève de coton avec des teneurs en GL plus faibles que celles obtenues par Diaw *et al.* (2010b), permettant une incorporation plus importante de fèves et l'obtention de meilleures performances.

L'usage de tourteau de coton comme source d'aliment protéique chez la volaille nécessite que les teneurs en gossypol libre soient corrigées ou tolérées par l'animal, dans des conditions économiquement rentables, ce qui n'est pas nécessairement aisé. Les travaux sur le coton conventionnel indiquent toutefois que le gossypol est le principal problème pour la valorisation de ces graines, en alimentation animale. L'emploi de variétés moins riche en glandes à gossypol (« Glandless ») reste donc la solution théoriquement la plus adaptée et devrait conduire à des performances chez la volaille au moins similaires à celles obtenues avec d'autres aliments protéiques (tourteaux de soja et d'arachide).

## **2. La fève de coton « Glandless » en production de poulets**

Les variétés de coton « Glandless » ont été créées dans le cadre de la lutte pour la sécurité alimentaire et plus particulièrement de celle des pays en développement. Durant la phase de vulgarisation de ces variétés de coton en Afrique, Yo (1991) n'a observé aucune différence significative sur les poids

d'animaux nourris avec des aliments contenant jusqu'à 20% d'amande de coton « Glandless ». Des résultats similaires ont été rapportés par la plupart des auteurs après une supplémentation de rations contenant du coton classique avec la lysine et/ou du fer ou d'autres traitements visant à neutraliser l'effet dépressif du gossypol (El Boushy et Raternick, 1989 ; Watkins *et al.*, 1993 ; Sekhar Reddy *et al.*, 1998 ; Gamboa *et al.*, 2001 ; Henry *et al.*, 2001 ; Azman et Yilmaz, 2005).

Diaw *et al.* (2009) ont obtenu des résultats encore meilleurs avec l'emploi de la fève de coton « Glandless ». En effet, le remplacement partiel du tourteau d'arachide par la fève de coton « Glandless » s'est accompagné d'une augmentation des poids des animaux de façon proportionnelle avec le niveau de substitutions. Ces résultats ont été confirmés par d'autres travaux lors d'une substitution totale (Diaw *et al.*, 2010c). Cet essai a permis également de mettre en évidence les effets négatifs d'une ration simplifiée à l'extrême (maïs + fèves de coton) sur les performances des poulets, malgré le fait que les indices de consommation soient restés intéressants.

Il faut noter que toute amélioration ou dépression des performances pondérales des poulets, lors de la substitution du tourteau d'arachide a été consécutive à une augmentation ou une diminution concomitante de l'ingestion. Ce phénomène met en évidence, d'une part, la responsabilité du caractère amer du gossypol (Déthier, 1987) qui limite l'ingestion avec la fève de coton conventionnel, mais également la forte appétence liée à la fève sans gossypol. Etant presque exempt de gossypol, la fève de coton « Glandless » a présenté en effet une très bonne appétibilité, une forte ingestion, qui a entraîné une meilleure croissance (Diaw *et al.*, 2010c). Des résultats similaires ont été rapportés par Clawson et Smith (1966) puis par Husby et Kroening (1971) qui avaient obtenu, après détoxification du tourteau de coton, de meilleures prises alimentaires qu'avec les tourteaux d'arachide et de soja.

Finalement ces meilleures croissances pondérales n'ont donc pas donné de meilleures efficacités alimentaires (Diaw *et al.*, 2009 ; Diaw *et al.*, 2010c). Ce qui démontre qu'il est extrêmement difficile d'intervenir positivement sur ce paramètre, en partant d'une formule standard comme point de référence : l'animal qui augmente sa consommation alimentaire convertit davantage d'aliments en tissus de croissance, et probablement produit davantage de tissu adipeux. La haute teneur en énergie de ce tissu nécessite alors davantage d'aliment pour un gain de poids identique et entraîne donc une augmentation de l'indice de consommation. A l'inverse, une réduction de la consommation (en raison de la présence de facteurs toxiques, d'un éventuel excès de lipides, d'une couleur peu appétente, ...) réduit le dépôt de tissus, et conduit à des animaux plus maigres, ce qui tamponne l'effet négatif sur l'indice de consommation, d'autant plus que le métabolisme basal peut lui-même être modifié. Ceci remet au premier plan l'importance d'essayer de valoriser toute ressource alimentaire dans un contexte d'élevage de volaille, la limite étant le travail que nécessite la production de cette ressource.

Ces considérations ne doivent toutefois pas faire négliger l'importance de la digestibilité des nutriments. Diaw *et al.* (2009) ont effectué des études en ce sens. Pour des raisons techniques la digestibilité des protéines n'a pas été évaluée. De fortes variations de la digestibilité de ce nutriment dans des rations avec le coton ont été rapportées dans la littérature (Ojewola et Ewa, 2005 ; Ojewola *et al.*, 2006). En effet, Ojewola et Ewa (2005) ont observé, en comparaison avec d'autres aliments protéiques tels que le soja et l'arachide, la plus faible digestibilité de la protéine de coton (70,2 % contre respectivement 77,0 et 83,6%). En ajoutant du sulfate de fer au tourteau de coton pour neutraliser le gossypol, Ojewola *et al.* (2006) ont obtenu de meilleures digestibilités des protéines (81,4% contre 70,0% pour le tourteau de soja). Ces résultats laissent supposer une excellente digestibilité des protéines de la fève de coton « Glandless » si l'on sait que la teneur en gossypol de cette dernière est négligeable et qu'effectivement la digestibilité des autres nutriments rapportée par Diaw *et al.* (2009) a été meilleure avec le coton exempt de glandes à gossypol.

Les faibles performances enregistrées avec la ration simplifiée, résultant uniquement des faibles ingestions des animaux, pourraient être intéressantes en aviculture extensive. En effet, cette ration a été formulée pour être testée dans le cadre de la vulgarisation des résultats de la fève de coton « Glandless » rapportée par Diaw *et al.* (2009). Par rapport à ce public cible qui est constitué d'amateurs avec des animaux errant à la recherche de nourriture, une complémentation d'une telle ration devraient améliorer significativement les performances des poulets. Des résultats similaires ont été rapportés par Zolty (1989) qui avaient constaté qu'un apport alimentaire énergétique distribué aux poulets se nourrissant de restes domestiques augmentait considérablement la productivité. Et selon Dongmo *et al.* (1993), les paramètres de reproductions devraient être également significativement améliorés car le gossypol est presque inexistant dans la fève de coton « Glandless ».

Les raisons pour lesquelles les animaux ont consommé peu d'aliment simplifié alors qu'ils ont fortement apprécié les provendes plus complexes incluant les fèves « Glandless » restent à définir. Il n'est pas exclu que des traitements thermiques simples, tels que le toastage, augmente l'appétibilité des fèves et permette ainsi d'améliorer les performances des animaux en claustration recevant une ration simplifiée, ou celles d'animaux libres recevant des fèves sous forme de supplément. Les travaux de Dahouda *et al.* (2009) ont montré que la volaille en liberté, au travers de ses activités de divagation, couvrait de manière marginale à la fois ses besoins d'entretien en énergie et en protéine. A ce titre, la fève de coton sans gossypol constituerait un aliment de complémentation relativement équilibré, apportant à la fois de l'énergie – via ses lipides – et des protéines, pour assurer les besoins de production.

Cependant, une augmentation du taux de malformations des pattes avec l'incorporation de graines de coton a été rapportée par Hofman (2000). L'incorporation de la fève de coton dans la ration pourrait ainsi réduire l'assimilation d'éléments minéraux et ce d'autant plus que le taux d'incorporation est

élevé (Yo, 1991). Pour Kensett *et al.* (1980), ce phénomène pourrait résulter de l'augmentation de la teneur en extrait étheré de la ration qui entrainerait une diminution de la fixation du phosphore et du calcium dans le tibia des poulets âgés de quatre semaines. De plus, une diminution de la digestibilité du calcium d'aliment contenant un taux élevé d'EE avait été rapportée par Griffith *et al.*, (1961). Toutefois, ce problème devrait être évité dans la mesure où les animaux diversifient naturellement leur ration.

L'incorporation de la fève de coton glandless s'est accompagnée d'une amélioration des carcasses des animaux et des autres composants de celles-ci notamment le poids des muscles pectoraux et des cuisses (Diaw *et al.*, 2009). Les rendements carcasses rapportés par Watkins *et al.* (2002) et Ojéwola *et al.* (2006) ont été plus élevés avec les aliments contenant le tourteau de soja, suivi de ceux à base de coton puis de tourteau d'arachide, sans pour autant que ces différences ne soit significatives. Les effets considérables observés par Diaw *et al.* (2009) sont vraisemblablement à nouveau liés aux effets positifs des fèves de coton glandless sur l'ingestion, qui ont stimulé les dépôts lipidiques et la croissance en général. Il n'est pas non plus exclu que le type d'acides gras présents dans les fèves de coton ait orienté le métabolisme. En effet, les acides gras de type n-6, abondamment trouvés dans les fèves de coton, sont connus pour leurs propriétés pro-inflammatoires. Leurs effets « vasculaires » pourraient ainsi stimuler les phénomènes de croissance et l'anabolisme général. Plusieurs études ont été menées pour évaluer l'effet de l'inclusion d'acides gras sur la quantité de graisses abdominales chez le poulet (Sanz *et al.*, 1999, 2000a ; 2000b ; Crespo et Esteve-Garcia, 2002) mais aussi sur les proportions d'acides gras poly-insaturés (AGPI) (Scaife *et al.*, 1994 ; Hrdinka *et al.*, 1996 ; Lopez-ferrer *et al.*, 1999). Cortinas *et al.* (2004) ont rapporté qu'une augmentation de la teneur en PUFA des provendes améliorerait le dépôt de graisse abdominale.

La quantification de la graisse abdominale n'a pas été effectuée dans les travaux de Diaw *et al.* (2009). Cependant, une augmentation de la teneur des muscles en AGPI a été observée avec l'incorporation de la fève de coton. Les AGPI jouent un rôle important dans la santé humaine en ce sens que les acides gras du type n-3 (dont le chef de file est l'acide gras alpha linoléique – C18 :3) permettent de prévenir les maladies cardio-vasculaires et aident au développement et au fonctionnement du système nerveux central chez le nouveau né (Jahan et Paterson, 2007). Elles sont très présentes dans les produits de la mer (O'Keefe *et al.*, 1995). La manipulation de la composition en acides gras de la viande de poulets pourrait donc se révéler intéressante car cette viande est très acceptée à travers le monde (Jahan *et al.*, 2004) et est naturellement riche en AGPI (Asghar *et al.*, 1990). Toutefois, les fèves de coton ne peuvent vraisemblablement qu'augmenter « mécaniquement » les teneurs en acides gras de type n-6, étant elles-mêmes riches en cet acide gras. Dans ce contexte, l'intérêt diététique humain indirect des fèves de coton est discutable.

Il a été rapporté par plusieurs auteurs que l'augmentation du niveau de AGPI de la viande accroît la susceptibilité des lipides à l'oxydation (Klaus *et al.*, 1995 ; Cortinas *et al.*, 2001 ; Grau *et al.*, 2001 ; Tang *et al.*, 2001) et affectent la couleur, la texture, la valeur nutritionnelle et donc la qualité de la viande (Ajuyah *et al.*, 1993 ; Gonzales-Esquerria et Leeson, 2000 ; Bou *et al.*, 2001). Un tel phénomène peut-être évité grâce à une supplémentation à l'aide d'anti-oxydants afin d'accroître la stabilité oxydatives des huiles (Marchiello *et al.*, 1999 ; Bou *et al.*, 2004 ; Cortinas *et al.*, 2004).

Les acides gras des aliments contenant des sous-produits de coton sont donc vraisemblablement plus résistants à l'oxydation que ceux contenant des tourteaux d'arachide ou de soja si l'on sait que le coton est particulièrement riche en tocophérol (vitamine E) à pouvoir anti-oxydant (Sontag, 1979). Ce phénomène pourrait aussi être lié à l'appétence particulière dont les poulets ont fait preuve, à l'égard des aliments à base de fève de coton. Aujourd'hui, l'apport d'antioxydant est couramment utilisé pour stabiliser la qualité organoleptique des aliments mais surtout la stabilité des AGPI (Lin *et al.*, 1989 ; O'Neill *et al.*, 1998 ; Cortinas *et al.*, 2001 ; Bou *et al.*, 2001 ; Bou *et al.*, 2004). L'emploi des sous-produits de la graine de coton « Glandless » devrait, en plus d'améliorer les performances des poulets nourris normalement avec de l'arachide, produire une viande de meilleure qualité nutritionnelle.

Toutefois, compte tenu du fait que les industriels pourraient valoriser à la fois l'huile et le tourteau, comme sous-produit des fèves de coton « Glandless », il convenait de préciser ou discriminer l'effet propre de la protéine ou des lipides sur les performances d'élevage des poulets.

### **3. Effets spécifiques des protéines et lipides de coton en production de poulets**

Si les acides gras de la fève de coton peuvent avoir un effet sur la consommation ou les performances des animaux, les protéines jouent probablement un rôle dominant, dans la mesure où l'huile de coton n'a exercé aucun effet significatif sur les poids vifs des poulets recevant une ration à base de tourteau d'arachide comme source protéique (Diaw *et al.*, 2010d). Il semblerait même que la fève de coton déshuilée associée à l'huile d'arachide donnent les meilleurs résultats (Diaw *et al.*, 2009 ; Diaw *et al.*, 2010d). Cependant, cette hypothèse est à relativiser car la disponibilité de la fraction lipidique dans les fèves de coton intactes n'était peut être pas la même que celle de l'huile d'arachide simplement ajoutée dans les aliments contenant des fèves de coton délipidées.

Par comparaison au tourteau d'arachide, les meilleures performances enregistrées avec la fève de coton « Glandless » – déshuilée et additionnée d'huile d'arachide, ou brute - (Diaw *et al.*, 2009 ; Diaw *et al.*, 2010d) pourraient être liée à une meilleure digestibilité des protéines de coton; celle-ci pourrait expliquer un plus grand dépôt de graisses abdominales, se traduisant par des carcasses plus lourdes (Diaw *et al.*, 2010d). Aucun effet lié aux lipides n'a en tout cas été décelé, comme ce fut supposé dans l'essai de Diaw *et al.* (2009). Plus vraisemblablement toutefois, ce sont les différences d'ingestion –

donc l'appétibilité des rations - qui, une fois de plus, ont principalement expliqué des différences de gains de poids entre groupes. Cela signifierait que les poulets auraient une appétence particulière pour la protéine de coton proprement dite.

Les teneurs en AGPI dans le muscle semblent être plus importantes avec les protéines de coton, là où les huiles n'ont montré aucun effet significatif sur les muscles des poulets. Ce phénomène peut sembler normal dans la mesure où l'augmentation de l'ingestion a stimulé le dépôt « mécanique » des lipides de la ration. Dans la masse intramusculaire, le relativement faible pourcentage de graisse dans la viande ne permettant pas de distinguer l'effet de l'huile d'arachide de celui de l'huile de coton. Cependant, l'huile de coton semble accroître les teneurs en AGPI de la graisse (Diaw *et al.*, 2010e). Ces variations sont le résultat des n-6 et notamment de l'acide linoléique (C18 :2n-6). En effet, l'huile de coton est très riche en C18 :2n6 avec 57,3% contre 36,2% des acides gras présents dans l'huile d'arachide, cette dernière contenant davantage de C18 :1 n-9 (Sontag, 1979 ; Pascal, 1996). D'autre part, le coton étant très riche en tocophérol, il est possible que cette vitamine ait protégé cet acide gras ainsi que d'autres AGPI d'une oxydation qui aurait pu réduire fortement leurs teneurs.

Le degré de saturation des acides gras de poulets nourris avec la fève de coton reflète vraisemblablement celui de l'huile de coton contenue dans cette fève. Toutefois, au niveau des muscles de poulets, une augmentation significative de la teneur en acide gras saturée (AGS) liée aux protéines de coton a été observée. Elle résulterait de l'anabolisme lipidique via les acides gras synthèses, principalement responsable de la synthèse de l'acide palmitique qui représente 50,7% et 60,5% des AGS respectifs de la viande et des graisses de poulet.

Les sous-produits de coton « Glandless » peuvent donc exercer un double effet sur les poulets en croissance : un effet anabolique lié au gain d'appétibilité exprimé par l'animal vis-à-vis de la fève, et un effet « plastique » lié à la composition même en acides gras de l'huile de coton, effet non nécessairement recherché chez l'homme. Avec la compétition alimentaire homme-animal qu'aurait pu entraîner le développement de variétés de coton exprimant une inhibition spécifique de la production de gossypol uniquement dans la graine, une complémentarité dans l'emploi des ressources peut donc être observée entre les protéines de coton de la fève déshuilée, qui est responsable de meilleures performances en production de poulets, et l'huile de coton appréciée en industrie agro-alimentaire humaine en raison de sa richesse en AGPI (Pascal, 1996).

## Conclusion générale

---

Cette étude a permis de mettre en évidence les limites d'utilisation des co-produits de la graine de coton gossypolé en production de poulets. Le gossypol serait le seul élément limitant pour la valorisation de cette ressource très riche en protéine et en énergie. Cette substance agit d'une part sur l'ingestion et occasionne des retards de croissance aigus ; et d'autre part exerce des effets toxiques propres entraînant de la mortalité lors de forts taux d'incorporation. Toutefois une incorporation à hauteur de 10% dans des aliments en élevage extensif (aviculture traditionnelle) serait économiquement soutenable au niveau de l'exploitation familiale.

Le coton exempt de glandes à gossypol (« glandless ») s'est par contre révélé être un excellent aliment de substitution du tourteau d'arachide dans les aliments pour poulets, le gain de performance étant lié à la forte appétibilité des rations contenant la fève de coton. D'un point de vue physiologique, les effets semblent liés à la fraction protéique du coton, bien qu'un rôle des acides gras, en particulier de l'acide linoléique, soit possible sur la lipogenèse. Les lipides de coton renforcent toutefois les teneurs en acides gras polyinsaturés, de la série n-6, chez le poulet.

Ces résultats montrent que l'utilisation de la fève de coton de glandless pourrait constituer une opportunité pour les pays en développement où l'essor de la filière avicole est limité par la demande en aliment protéique. Pour ce faire, la vulgarisation des nouvelles variétés présentant une inhibition sélective de la production de glandes à gossypol au niveau de la graine est stratégique. Elle pourrait ainsi contribuer à la compensation de la chute des cours mondiaux du coton-fibre dont les cotonculteurs sont victimes et créer une plus value au niveau de la filière coton des pays en développement.

## Références bibliographique

---

- AHMED A.A., SOLIMAN M.M., YOUNIS M., ZAKI A., KHALIFA B.A.A. Gossypol as antifertility agent in female rats. *Arch. Exp. Vet. Med.*, 1988, **42**, 944 – 948.
- AJUYAH A.O., HARDIN R.T., SIM J.S. Dietary antioxidant and storage affect chemical characteristics of  $\omega$ -3 fatty acid enriched broiler chicken meats. *J. Food Sci.*, 1993, **58**, 43 – 46.
- AKANBI O.C. Reproductive effects of gossypol and cottonseed meal in male single comb White Leghorn chickens. *Diss. Absrr. Int. B.*, 1985, **45** (7) : 1977
- AMEHOUS S., Les Négociations de Juillet 2004, l'insertion du coton dans le dossier agricole et la mise en place du sous comité du coton: Conséquences et enjeux. 23 – 32. In Hazard E., Négociation commerciales internationales et réduction de la pauvreté: Le livre blanc sur le coton. *Enda ed. : Dakar*, 2005, pp164.
- ARAFAT M.A. La filière des œufs de consommation au Cameroun (Thèse EISMV). *Dakar* (Sénégal), 2002, pp 33.
- ARBELOT B., FOUCHER H., DAYON J.F., MISSOHOUS A. Typologie des aviculteurs dans la zone du Cap Vert au Sénégal. *Revue Elev. Méd. Vet. Pays Trop.*, 1997, **50**, 75 – 83.
- ASGHAR A., LIN C.F., BUCKLEY D.J., BOOREN A.M., FLEGAL C.J. Effects of dietary oils and  $\alpha$ -tocopherol supplementation on membranial lipid oxidation in broiler meat. *J. of Food Sci.*, 1990, **55**, 46 – 50.
- AZMAN M.A., YILMAZ M. The growth performance of broiler chicks fed with diets containing CSM supplemented with Lysine. *Rev. Med. Vet.*, 2005, **156** (2), 104 – 106.
- BALIGA B.P., LYMAN C.M. Preliminary report on the nutritional significance of bound gossypol in cottonseed meal. *J. of Am. Oil Chem. Soc.*, 1957, **34**, 21-24.
- BALIGA B. P., BAYLISS M. E., LYMAN C. M. Determination of free lysine epsilon amino groups in cottonseed meals and preliminary studies in relation to protein quality. *Arch. Biochem. Biophysical*, 1959, **84**, 1 – 6.
- BARAZZA M.L., COPPROCK C.E., BROOKS K.N., WILKS D.L., SAUNDERS R.G., LATIMER G.W. Iron sulfate and feed pelleting to detoxify free gossypol in cottonseed diets for dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 1991, **74**, 3457 – 3467.
- BONFOH B., ANKERS P., PFISTER K., PANGUI L.J., TOGUEBAYE B.S. Répertoire de quelques Contraintes de l'Aviculture villageoise en Gambie et Propositions de Solutions pour son Amélioration, *Proceedings INFPD Workshop, Mbour, Senegal*, Dec 9 – 13, 1997
- BOU R., GUARDIOLA F., GRAU A., GRIMPA S., MANICH A., BARROETA A., CODONY R. Influence of dietary fat source,  $\alpha$ -tocopherol, and ascorbic acid supplementation on sensory quality of dark chicken meat. *Poult. Sci.*, 2001, **80**, 1 – 8.



- BOU R., GUARDIOLA F., TRES A., BARROETA A. C., CODONY R. Effect of dietary fish oil,  $\alpha$ -tocopherol acetate, and zinc supplementation on composition and consumer acceptability of chicken meat. *Poult. Sci.*, 2004, **83**, 282 – 292.
- BRANCKAERT R., FAVIER J.C., VALLERAND E. Utilisation du tourteau de coton dans l'alimentation animale. *Zootech.*, 1968, **17** (1), 42 – 50.
- BRUINSMA, W. Le cotonnier In Entomologie appliquée. AGRHYMET : Pays Bas, 1987, p97.
- BURROWS W.H., QUINN J.P. The collection of spermatozoa from the domestic fowl and turkey. *Poult. Sci.*, 1937, **16**, 19 – 24.
- CASS Q.B., TIRITAN E., MATLIN S.A., Freire E.C. Gossypol enantiomer ratios in cotton seeds. *Phytochem.*, 1991, **30**, 2655 -2657.
- CHILLIARD Y., FERLAY A., DOREAU M. Contrôle de la qualité nutritionnelle des matières grasses du lait par l'alimentation des vaches laitières : acides gras trans, polyinsaturés, acide linoléique conjugué. *INRA Prod. Anim.*, 2001, **14**, 323-335.
- CLAWSON A.J., SMITH F.H. Effect of dietary iron on gossypol and on residues of gossypol in porcine liver. *J. Nutr.*, 1966, **89**, 307 – 310.
- CORTINAS L., GALOBART J., BARROETA A.C., CASTILLO M.S., JENSEN S.K. Influencia del nivel de insaturacion dietética sobre el deposito y efecto antioxidante del alfa-tocoferol en muslo de pollo (crudo, cocido y cocido-refrigerado). 2001. Pages 141–148 in Proceedings of the XXXVIII Symposium Científico de Avicultura. Seccion Espanola de la WPSA. Cordoba, Spain.
- CORTINAS L., VILLAVERDE C., GALOBART J., BAUCCELLS M.D., CODONY R., BARROETA A.C. Fatty acid content in chicken thigh and breast as affected by dietary polyunsaturation level. *Poult. Sci.*, 2004, **83**, 1155-1164.
- COUSH J.R., CHANG W.Y., LYMAN C.M. The effect of free gossypol on chick growth. *Poult. Sci.*, 1955, **34**, 178 – 183.
- CRESPO N., ESTEVE-GARCIA E. Dietary polyunsaturated fatty acids decrease fat deposition in separable fat depots but not in the remainder carcass. *Poult. Sci.*, 2002, **81**, 512 – 518.
- DAHOUDA M. Contribution à l'étude de l'alimentation de la pintade locale au Bénin, et perspectives d'améliorations à l'aide de ressources non conventionnelles. (PhD), ULg (Belgique), 2009, pp 174.
- DECHARY J.M., KUPPERMAN R.P., THURBER F.H., ALTSCHUL A.M. Removal of gossypol from cottonseed by solvent extraction procedures. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1952, **29**, 339-341.
- DEMOL, J. La connaissance de la plante. Administration Générale de la Coopération au Développement : Bruxelles, 1992, 247 p.

- DETHIER P. Etude de la valeur alimentaire des produits et sous produits disponibles au Sénégal pour l'alimentation des volailles (Mémoire). FUSAGX (Belgique), 1987, pp78.
- DEUTSCHMAN A.J., SHIMADATE T., REID B.L., BERRY J.W. Synthetic sterculene: Effect on avian eggs. *Poult. Sci.*, 1964, **43**, 1291 – 1292.
- DIAW M.T., DIENG A., MERGEAI G., YOUSOUF I., DOTREPE O., HORNICK J.L. Effect of groundnut cake substitution by glandless cottonseed kernels on broilers production: Animal performance, Nutrient digestibility, Carcass characteristics and fatty acid composition of muscle and fat. *Int. J. of Poult. Sci.*, 2009, (in press).
- DIAW M.T., DIENG A., MERGEAI G., HORNICK J.L. Les co-produits de la graine de coton en alimentation du poulet de chair. 2010a, (in press).
- DIAW M.T., DIENG A., MERGEAI G., SY M., HORNICK J.L. Effets de la substitution du tourteau d'arachide par la fève de coton conventionnel en production de poulet de chair au Sénégal. 2010b, (in press).
- DIAW M.T., DIENG A., MERGEAI G., CAMARA A., HORNICK J.L. Effets de la substitution totale du tourteau d'arachide par la fève de coton Glandless sur les performances zootechniques de poulets de chair au Sénégal. 2010c, (in press).
- DIAW M.T., DIENG A., MERGEAI G., HORNICK J.L. Effect of protein and lipid sources on broilers receiving diets based on groundnut cake and cottonseed kernel: animal performances, nutrient digestibility and carcass characteristics. 2010d, (in press).
- DIAW M.T., DIENG A., MERGEAI G., HORNICK J.L. Influence des protéines et lipides de coton et d'arachide sur la composition en acide gras des muscles et graisses de poulets. 2010e, (in press).
- DONGMO T., POUILLES-DUPLAIX M., NGOU NGOUPAYOU J.D., BLESBOIS E., DE REVIERS M. Utilisation de tourteau de coton dans l'alimentation des volailles. 1. Etude zootechnique chez les reproducteurs de l'espèce *Gallus domesticus*. *Rev. Med. Vet.*, 1993a, **46** (4), 621 – 630.
- DONGMO T., POUILLES-DUPLAIX M., PICARD M., MBI C., DE REVIERS M. Utilisation de tourteau de coton dans l'alimentation des volailles. 2. Effets du gossypol sur les paramètres de la reproduction. *Rev. Med. Vet.*, 1993b, **46** (4), 609 – 619.
- EL BOUSHY A.R., RATERINK R. Replacement of soybean meal by cottonseed meal and peanut meal or both in low energy diets for broilers. *Poult. Sci.*, 1989, **68**, 799 – 804.
- ESTUR G. Le marché mondial du coton: évolution et perspectives. *Agric.*, 2006, **15**, 9 - 14.
- EVANS R.J., BANDERMER S.L., DAVIDSON J.A. Fatty acid distribution in lipids from eggs produced by hens fed cottonseed oil and cottonseed fatty acid fractions. *Poult. Sci.*, 1960, **39**, 199 – 203.

- FERGUSON T.M., COUCH J.R., RIGDON R.H. Histopathology of animal reactions to pigment compounds-chickens Proc. Conf. Chem. Structure and Reactions of gossypol and non-gossypol pigments of cottonseed. In National cottonseed products Assoc. Memphis: Tennessee, 1959, 131 – 141.
- GAMBOA D.A., CALHOUN M.C., KUHLMANN S.W., HAQ A.U., BAILEY C.A. Use of expander cottonseed meal in broiler diets formulated on a digestible Amino acid Basis. *Poult. Sci.*, 2001, **80**, 789 – 794.
- GONZALEZ-ESQUERRA R., LEESON S. Effects of menhaden oil and flaxseed in broiler diets on sensory quality and lipid composition of poultry meat. *Br. Poult. Sci.*, 2000, **41**, 481 – 488.
- GOREUX L., Réduire les subventions et combattre les mesures de diversion : Hong Kong, l'occasion à ne pas manquer. 87 – 99. In Hazard E., Négociation commerciales internationales et réduction de la pauvreté: Le livre blanc sur le coton. *Enda ed. : Dakar*, 2005, pp164.
- GRAU A., CODONY R., GRIMPA S., BAUCCELLS M.D., GUARDIOLA F. Cholesterol oxidation in frozen dark chicken meat: influence of dietary fat source, and  $\alpha$ -tocopherol and ascorbic acid supplementation. *Meat Sci.*, 2001, **57**, 197–208.
- GRIFFITH F.D., GRAINGER R.B., BEGIR J.J. The effect of dietary fat and cellulose on apparent calcium digestibility in growing chickens. *Poult. Sci.*, 1961, **40**, 1492 – 1497.
- GUEYE E.F. The role of family poultry in poverty alleviation, food security and the promotion of gender equality in rural Africa. *Agric.*, 2000, **29** (2), 129 – 136.
- HENRY M.H., PESTI G.M., BAKALLI R., LEE J., TOLEDO R.T., EITENMILLER R.R., PHILLIPS R.D. The performance of Broiler chicks fed diets containing extruded cottonseed meal with Lysine. *Poult. Sci.*, 2001, **80**, 762 – 768.
- HEYWANG B.W., BIRD H.R. Relationship between the weight of chicks and levels of dietary free gossypol supplied by different cottonseed products. *Poult. Sci.*, 1955, **34**, 1239 – 1247.
- HOFMAN A. Amélioration de l'aviculture traditionnelle aux îles Comores : Impact de la semi-claustration et de la complémentation par une provende locale sur la production de la volaille locale. Mémoire, ULg (Belgique), 2000, 60 pages.
- HRDINKA C., ZOLLITSCH W., KNAUS W., LETTNER F. Effects of dietary fatty acid pattern on melting point and composition of adipose tissues and intramuscular fat of broiler carcasses. *Poult. Sci.*, 1996, **75**, 208–215.
- HUSBY F.M., KROENING G. H. Energy value of cottonseed meal for swine. *J. Anim. Sci.*, 1971, **33**, 592 – 603.
- JAHAN K., PATERSON A., SPICKETT C.M. Fatty acid composition and lipid oxidation in chicken meat from different production regimes. *Int. J. of Food Sci. and Technol.*, 2004, **39**, 443 – 453.

- JAHAN K., PATERSON A. Lipid composition of retailed organic free-range and conventional chicken breasts. *Int. J. of Food Sci. and Technol.*, 2007, **42**, 251 – 262.
- JENSEN D.R., TONE J.N., SORENSEN R.H., BOZEK S.A. Deposition pattern of the antifertility agent, gossypol in selected organs of male rats. *Toxicol.*, 1982, **24**, 65 – 72.
- KENSETT B.C., HO S.K., TOUCHBURN S.P. Influence of level of dietary fat on the growth of dwarf chickens. *Poult. Sci.*, 1980, **59**, 2065 – 2070.
- KLAUS A.M., FUHRMANN H., SALLMANN H.P. Peroxidative and antioxidative metabolism of the broiler chicken as influenced by dietary linoleic acid and vitamin E. *Arch. Geflügelk.* 1995, **59**, 135 – 144.
- LAGERLOF K.R., TONE N.J. The effect of gossypol acetic acid on female reproduction. *Drug Chem. Toxicol.*, 1985, **8** (6), 469 – 482.
- LIN C.F., GRAY J.I., ASHGAR A., BUCKLEY D.J., BOOREN A.M., FLEGAL C.J. Effects of dietary oils and  $\alpha$ -tocopherol supplementation on lipid composition and stability of broiler meat. *J. Food Sci.*, 1989, **54**, 1457 – 1460.
- LIPSTEIN B., BORNSTEIN S. Studies with acidulated cottonseed oil soapstock. 2. Attempts to reduce its gossypol content. *Poult. Sci.*, 1964, **43**, 694 – 701.
- LOPEZ-FERRER S., BAUCCELLS M.D., BARROETA A.C., GRASHORN M.A. N-3 enrichment of chicken meat. 1. Use of very long-chain fatty acids in chicken diets and their influence on meat quality: fish oil. *Poult. Sci.*, 2001, **80**, 741 – 752.
- LYMAN C.M., BALIGA B.P., SLAY M.W. Reactions of proteins with gossypol. *Arch. Biochem. Biophys.*, 1959, **84**, 486 – 497.
- MARASCHIELLO C., SARRAGA C., GARCIA REGUEIRO J.A. Glutathione Peroxidase activity, TBARS, and  $\alpha$ -tocopherol in Meat from Chickens Fed Different Diets. *J. of Agric. and Food Chem.*, 1999, **47**, 867 – 872.
- MARQUIE C., ERIC H. Le coton glandless : une sécurité alimentaire en période de soudure. Bulletin du réseau TPA 11 CIRAD-CA, 1995, [en ligne] (04/1995) Adresse URL <http://www.gret.org/tpa/bulletins/bulletin11/b11p20a21.htm> Consulté le 23/03/07.
- MATHUR C.R., AHMED M.T. The feeding value of cottonseed meal screenings in chicks rations. *Indian Vet. J.*, 1969, **46**, 804 – 806.
- MERGEAI G. Forty years of Genetic improvement of cotton through interspecific hybridisation at Gembloux Agriculture University : Achievement and prospects. In: International Cotton Advisory Comity (Ed), World cotton Research Conference-3, Cape Town, 9 – 13 March 2003.
- NAGALAKSHMI D. Utilization of undercorticated cotton (Gossypium) seed meal in the diets of growing lambs. (PhD Thesis), 1997, Indian Veterinary Research Institute, Izatnagar India.

- NAGALAKSHMI D., SAVARAN V., RAMA R., ARUN K. P., VADALI R. B. S. Cottonseed meal in poultry diets: A review. *Int. J. of Poult Sci.*, 2007, **44**, 119 – 134.
- NARAIN R., LYMAN C.M., DEYOE C.W., COUCH J.R. Effect of protein level of the diet on free gossypol tolerance in chicks. *Poult. Sci.*, 1960, **39**, 1556 – 1559.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1994. nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press Washnigton, DC.
- OJEWOLA G.S., EWA U.E. Response of growing broiler to varying dietary plant protein. *Int. J. of Poult. Sci.*, 2005, **4**, 765 – 771.
- OJEWOLA G.S., UKACHUCKWU S.N., OKULONYE E.I. Cottonseed meal as substitute for soybean meal in broiler ration. *Int. J. of Poult. Sci.*, 2006, **5**, 360 – 364.
- O'KEEFE S.F., PROUDFOOT F.G., ACKMAN R.G. Lipid oxidation in meats of omega-3 fatty acid-enriched broiler chickens. *Food Res. Int.*, 1995, **28**, 417–424.
- O'NEILL L.M., GALVIN K., MORRISSEY P.A., BUCKLEY D.J. Comparison of effects of dietary olive oil, tallow, and vitamin E on the quality of broiler meat and meat products. *Br. Poult. Sci.*, 1998, **39**, 365 – 371.
- PARRY G. Le cotonnier et ses produits : Techniques Agricoles et Productions Tropicales. Maisonneuve et Larose : Paris, 1982, 502 p.
- PASCAL G. Les apports quotidiens recommandés en lipides et en acides gras. NCPA, Memphis, Tennessee, USA [en ligne] (01/1996) Adresse URL <http://www.nioto-togo.com/spip.php?article25> Consulté le 09/11/2009.
- PERCY R.G., CALHOUN M.C., KIM H.L. Seed gossypol variation within gossypium barbadense. *L. Cotton Crop. Sci.*, 1996, **36**, 193 – 197.
- PETIT H.V., TREMBLAY G.F., TREMBLAY E., NADEAU P. Ruminal biohydrogenation of fatty acids, protein degradability, and dry matter digestibility of flaxseed treated with different sugar and heat combinations. *Can. J. Anim. Sci.*, 2002, **82**, 241-250.
- PONCET C., REMOND D., LEPAGE E., MICHALET-DOREAU B. Comment mieux valoriser les protéagineux et oléagineux en alimentation des ruminants. *Fourrages*, 2003, **174**, 205 – 229.
- PONS W.A.JR, HOFFPAUIR C.L., HPPER T.H. Gossypol in cottonseed : Influence of variety of cottonseed and environment. *J. Agric. Food Chem.*, 1953, **1**, 1115 – 1118.
- RAHMA E.H., NARASINGO RAO M.S. Gossypol removal and functional properties of protein produced by extraction of glanded cottonseed with different solvents. *J. Food Sci.*, 1984, **49**, 1057 – 1060.
- RATHORE K. Safe seed: Food cotton genetically modified to not have toxic gossypol. [en ligne] (04/09/2009) Adresse URL

- [http://www.sciencecodex.com/safe\\_seed\\_food\\_cotton\\_genetically\\_modified\\_to\\_not\\_have\\_toxic\\_gossypol](http://www.sciencecodex.com/safe_seed_food_cotton_genetically_modified_to_not_have_toxic_gossypol) Consulté le 28/12/2009.
- SANZ M., FLORES A., PEREZ DE AYALA P., LOPEZ-BOTE C.J. Higher lipid accumulation in broilers fed on saturated fats than in those fed on unsaturated fats. *Br. Poult. Sci.*, 1999, **40**, 95 – 101.
- SANZ M., FLORES A., LOPEZ-BOTE C.J. The metabolic use of energy from dietary fat in broilers is affected by fatty acid saturation. *Br. Poult. Sci.*, 2000a, **41**, 61 – 68.
- SANZ M., LOPEZ-BOTE C.J., MENOYO D., BAUTISTA J.M. Abdominal fat deposition and fatty acid synthesis are lower and  $\beta$ -oxidation is higher in broiler chickens fed diets containing unsaturated rather than saturated fat. *J. Nutr.* 2000b, **130**, 3034 – 3037.
- SAUVANT D., LOSSOUARN J., VERRIER E. Le coton et ses co-produits en alimentation animale. *Rev. Alim. Anim.*, 1994, 482, <http://www.inapg.inra.fr/dsa/jobdaa/tcoton.htm>, Consulté le 14 Mars 2007.
- SAUVANT D., PEREZ J., TRAN G. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons (2<sup>ème</sup> Ed.). INRA Edition : France, 2004, 300p.
- SCAIFE J.R., MOYO J., GALBRAITH H., MICHIE W., CAMPBELL V. Effect of different dietary supplemental fats and oils on the tissue fatty acid composition and growth of female broilers. *Br. Poult. Sci.*, 1994, **35**, 107 – 118.
- SEKHAR-REDDY P., SUDHAKAR REDDY P., SATYANARAYANA REDDY P.V.V., SRINIVASA RAO D. Influence of cottonseed cake on the performance of broilers. *Indian J. Anim. Nutr.*, 1998, **15**, 188 – 193.
- SHAH F.H., SHAH W.H., YASIN M., ABDULLAH N. Detoxification of commercially produced cottonseed meal. *Pakistan J. Sci. Industr. Res.*, 1986, **29**, 380 – 382.
- SHARMA N.K., LODHI G.N., ICHHPONANI J.S. Cottonseed cake a potential source of vegetable protein for poultry: A review. *Indian J. Anim. Sci.*, 1978, **48**, 132 – 140.
- SKUTCHES C.L., HERMAN D.L., SMITH F.H. Effect of I/V gossypol injection on iron utilization in swine. *J. Nutr.*, 1973, **103**, 851 – 855.
- SONTAG N.O.V. Composition and Characteristics of Industrial fats and oils. In Formo M.W., Jungermann E., Norris F.A., Sontag N.O.V., Bailey's Industrial Oil and Fat Products. *Daniel Swern (Ed.): USA*, 1979, 289 – 477.
- STANSBURY M.F., PONS W.A.JR, DENHARTONG G.T. Relations between oil, nitrogen, and gossypol in cottonseed kernels. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1956, **33**, 282 – 286.

- SUNILKUMAR G., CAMPBELL L.M., PUCKHABER L., STIPANOVIC R.D., RATHORE K.S. Engineering cottonseed for use in human nutrition by tissue-specific reduction of toxic gossypol. *Appl. Biol. Sci.*, 2006, **103**, 18054 – 18059.
- SY M. Effets de l'incorporation d'amande de coton gossypolé sur les performances de poulets de chair (Mémoire). ENSA (Sénégal), 2006, pp49.
- TANG S., KERRY J.P., SHEEHAN D., BUCKLEY D.J. A comparative study of tea catechins and  $\alpha$ -tocopherol as antioxidants in cooked beef and chicken meat. *Eur. Food Res. and Technol.*, 2001, **213**, 286–289.
- TOWNSEND T. Situation et perspectives du coton. Groupe des produits tropicaux, 2008, pp 5. <http://www.ifap.org/fr/about/documents/CongresMondialAgriculteurs/SituationPerspectivesCoton.pdf>, Consulté le 09/11/2009.
- TRAORE E.H. Première évaluation de la structure et de l'importance du secteur avicole commercial et familial en Afrique de l'Ouest : Rapport du Sénégal, *FAO*, 2006, pp 52.
- WALLACE J.R., FALCONER M.L. In vitro studies of conditions required to protect protein from ruminal degradation by heating in the presence of sugars. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 1992, **37**, 129-141.
- WATKINS S.E., SKINNER J.T., ADAMS M.H., WALDROUP P.W. An evaluation of low-gossypol cottonseed meal in diets for broilers chickens: Effect of cottonseed meal level and lysine supplementation. *J. Appl. Poult. Res.*, 1993, **2**, 221 – 226.
- WATKINS S.E., SALEH E.A., WALDROUP P.W. Reduction in dietary nutrient density aids in utilization of high protein cottonseed meal in broiler. *J. Poult. Res.*, 2002, **1**, 53 – 58.
- YO T. Utilisation directe des graines de coton décortiquées de variétés sans gossypol dans l'alimentation des poulets de chair en Côte-d'Ivoire, *Revue Elev. Méd. Vet. Pays Trop.*, 1991, **44** (3), 355 – 360.
- YU P., GOELEMA J.O., TAMMINGA S. Determination of optimal conditions of pressure toasting on legume seeds for dairy industry. I. Effects of pressure toasting on nutritive values of *Lupinus albus* in lactating dairy cows. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 1999, **12**, 1205-1214.
- ZOLTY A. S'appuyer sur les couches paysannes pour développer durablement l'aviculture africaine. *Afr. Agric.*, 1989, **167**, 14 – 25.
- ZOUNDI J.S. Libéralisation de la filière coton et innovation agricole en Afrique de l'Ouest. *Cahier Agric.*, 2006, **15** (1), 3 – 170.

**Presses de la Faculté de Médecine vétérinaire de l'Université de Liège**

4000 Liège (Belgique)

D/2010/0480/11

ISBN 978-2-930404-78-3



9 782930 404783