

Production de masse de larves de *Musca domestica* L. (Diptera : Muscidae) pour l'aviculture au Burkina Faso : Analyse des facteurs déterminants en oviposition naturelle

Abdoul Gafar Sanou^{1*}, Fernand Sankara¹, Salimata Pousga¹, Kalifa Coulibaly¹, Jacques P. Nacoulma¹, Issoufou Ouedraogo², Souleymane Nacro², Marc Kenis³, Antoine Sanon⁴, Irénée Somda¹

¹Institut du Développement Rural, Université Nazi Boni, 01 P.O. Box 1091, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

²Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), 01 P.O. Box 910, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

³Centre for Agriculture and Biosciences International (CABI), 1 Rue des Grillons, Delemont, Switzerland

⁴Laboratoire d'Entomologie Fondamentale et Appliquée, Université Ouaga I Pr Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso

*Auteur correspondant : sanougafar10@gmail.com

Original submitted in on 7th November 2018. Published online at www.m.elewa.org/journals/ on 28th February 2019

<https://dx.doi.org/10.4314/jab.v134i1.6>

RÉSUMÉ

Objectifs: Une étude a été réalisée à l'ouest du Burkina Faso afin de déterminer les facteurs qui influencent l'oviposition naturelle de la mouche domestique (*Musca domestica* L.). L'objectif est d'améliorer la production de masse des larves de mouches pour l'élevage de la volaille au Burkina Faso.

Méthodologie et Résultats: L'influence de l'humidité, de la quantité du substrat (fiente de poules pondeuses) et de trois récipients de surfaces variables sur la production des asticots a été déterminée. L'effet des saisons a été également évalué durant quatre périodes de l'année (juillet, octobre, janvier et avril). Les résultats indiquent une variation très significative de la biomasse fraîche larvaire variant de 604,9 g (4 kg + 7 l) à 5,5 g (4 kg + 10 l). Il ressort également que plus la surface d'oviposition est grande, plus la biomasse larvaire produite est importante (127,5 g pour 0,07 m² contre 257,2 g pour 0,11 m²). La production des larves a été maximale en juillet (239 g) et faible en avril (86,06 g).

Conclusion et application des résultats: L'étude montre que, lors de la production des asticots, une humidité insuffisante et un excès d'eau peuvent constituer des facteurs limitants à la production de masse. De plus, l'augmentation de la quantité du substrat par récipient n'implique pas nécessairement une augmentation de rendement, mais qu'une quantité optimale de substrat doit être trouvée en fonction des dimensions de l'ouverture du récipient utilisé. La saison des pluies est plus favorable pour une bonne production larvaire que les saisons sèches et de grande chaleur. Ces résultats permettent le développement d'une méthode durable de production de masse des asticots facilement applicable par des aviculteurs s'ils prennent en compte l'effet limitant des facteurs étudiés. En saison sèche, il est possible d'appliquer une double fermeture du substrat pour réduire les pertes d'eau par évaporation. En période froide, cet ajustement de la fermeture peut créer une condition adéquate de température permettant une éclosion des œufs et un développement plus rapide des larves.

Mots-clés : Asticots, Burkina Faso, *Musca domestica* (L.), production de masse, volaille

Production of *Musca domestica* L. larvae (Diptera: Muscidae) for poultry nutrition in Burkina Faso: Analysis of determining factors in natural oviposition

ABSTRACT

Objective: A study was conducted in western Burkina Faso in order to assess the factors that influence the natural oviposition of the house fly (*Musca domestica*). The objective was to improve the mass production of fly larvae for poultry farming in Burkina Faso.

Methodology and Results: The influence of moisture, the amount of substrate (poultry manure) and three containers with varying surfaces on larvae production were determined. The effect of season were also evaluated during four periods of the year (July, October, January and April). The results indicate a significant difference among treatments, with a fresh larval biomass varying from 604.9 g (4 kg + 7 l) to 5.5 g (4 kg + 10 l). It also appeared that larval biomass production increases with the oviposition surface (127.5 g for 0.07 m² against 257.2 g for 0.11 m²). Larval production was highest in July (239 g) and low in April (86.06 g).

Conclusion and application of results: The study shows that, during the production of maggots, insufficient moisture and excess water can be limiting factors to mass production. In addition, increasing the amount of the substrate per container does not necessarily imply an increase in yield, but a certain quantity of substrate has to be found according to the dimensions of the opening of the container. The rainy season is more favourable for fly larvae production than the dry and hot seasons. These results allow the development of a sustainable method of mass production of maggots that is easily applicable by poultry farmers if they take into account the limiting effect of the studied factors. In the dry season, it is possible to apply a double closure of the substrate to reduce the loss of water by evaporation. In cold weather, this closure adjustment can create an adequate temperature condition for egg hatching and faster larval development.

Keywords: Burkina Faso, maggot, mass production, poultry, *Musca domestica* (L.)

INTRODUCTION

La croissance démographique et l'urbanisation grandissante créent de fortes demandes en produits alimentaires (Brown & Crawford, 2008). Cette situation pourrait être à la base d'un déficit important d'aliments d'origine végétale et animale (Brown & Crawford, 2008 ; FAO, 2015). Pour prévenir une telle situation, d'importants efforts sont consentis afin d'accroître la disponibilité de ces produits. C'est le cas de la production de la volaille qui connaît une intensification dans plusieurs pays africains (Ouedraogo *et al.*, 2015ab; Pomalégni, 2017). Cette intensification de l'élevage est confrontée à la disponibilité des sources alimentaires protéiques durables en quantité et qualité suffisantes et à un coût accessible (Pousga *et al.*, 2009; Ouedraogo *et al.*, 2015ab; Pomalégni, 2017). D'où l'intérêt de l'utilisation des larves de mouches saprophages comme source alimentaire protéique bon marché (van Huis *et al.*, 2013 ; Kenis *et al.*, 2014, van

Zanten *et al.*, 2015, Koné *et al.*, 2017, Kenis *et al.*, 2018). Cet intérêt est d'autant plus important pour le monde rural du Burkina Faso que les activités socio-économiques qui l'occupent sont essentiellement basées sur l'agriculture de subsistance (Thiombiano & Kampmann, 2010). La production et l'utilisation des larves de mouches comme aliment dans l'aviculture à petite échelle au Burkina Faso et en Afrique de l'Ouest pourraient réduire les coûts de production de la volaille et par conséquent permettre une intensification durable et une amélioration de la filière avicole (Roffeis *et al.*, 2018). Les larves de mouche domestique (*Musca domestica* L.) sont d'ailleurs déjà utilisées de façon occasionnelle comme aliment par un nombre non négligeable de petits producteurs de volaille (Pomalégni *et al.*, 2017 ; Sanou *et al.*, 2018). Des travaux de plusieurs auteurs ont montré que de nombreux facteurs abiotiques et biotiques peuvent influencer la production de

masse des asticots de mouche domestique (Kenis et al., 2014 ; van Zanten et al., 2015 ; Koné et al., 2017 ; Sanou et al., 2018). Cependant, aucune étude approfondie n'a été réalisée au Burkina Faso sur l'influence de ces facteurs essentiels sur la production massive d'asticots dans les conditions d'oviposition naturelle. La présente étude a été conduite dans une perspective de

détermination des principaux facteurs qui pourraient aider les aviculteurs dans l'optimisation de leur système de production d'asticots. De façon spécifique, l'étude vise à évaluer l'effet (i) de la quantité et l'humidité du substrat sur la production d'asticots ; (ii) de la surface d'oviposition sur la production d'asticots ; et (iii) des périodes de l'année sur la biomasse larvaire.

MATERIEL ET METHODES

Zone de l'étude : Les expérimentations ont été réalisées à l'extérieur sous un toit à la station expérimentale de Nasso qui est situé sur l'axe Bobo-Dioulasso-Banzon à une quinzaine de km à l'ouest de Bobo-Dioulasso dans la région des Hauts-Bassins (Burkina Faso) entre 4° 25' longitude Ouest et 11° 12' latitude Nord. Le site de l'étude se situe dans une savane arborée dont la végétation est composée essentiellement de *Detarium microcarpum* G., de *Daniellia oliveri* H. & D., de *Vitellaria paradoxa* C. F. & G., de *Parkia biglobosa* J., de *Borassus* spp., de *Eucalyptus* spp., de Poaceae, etc. La pluviosité mensuelle de 2015 à 2018 a varié de 0 à 429,3 mm. Quant à la température moyenne, elle a varié de 25,31 à 31,35 °C pendant que l'humidité relative se situait entre 22,92% et 82,25%. L'évaporation sous-abri et la photopériode (L : D (heure) ; durée de l'insolation :

durée de l'obscurité) ont également varié respectivement de 1,81 à 9,64 mm et de 4,73 : 19,27 à 8,98 : 15,02. Ces données météorologiques (pluviosité, température, humidité relative, évaporation) ont été obtenues à la station météorologique de l'ASECNA de Bobo-Dioulasso située entre 04°18' longitude Ouest et 11°10' latitude Nord (ASECNA-Burkina Faso, 2018).

Substrat d'élevage des larves : La fiente de volaille préalablement mélangée avec une litière en copeaux de bois a servi de substrat pour la production des asticots (Photo 1). Ce substrat a été choisi pour sa disponibilité, son coût relativement faible et son niveau de production intéressant, démontré lors de tests préliminaires. Cette fiente âgée de deux mois a été récupérée sous forme sèche (non préalablement humidifiée) auprès d'une ferme avicole de poules de race exotique à Bobo-Dioulasso.

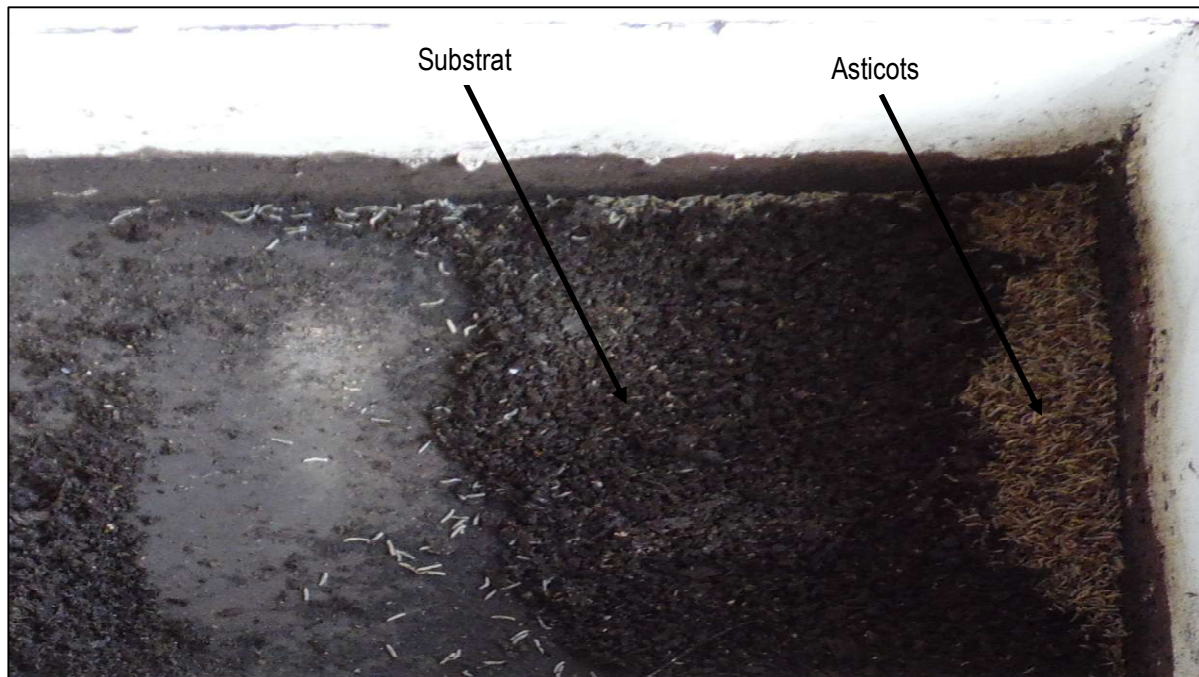


Photo 1 : Asticots mis à nu dans le substrat lors de l'extraction.

Influence de l'humidité et de la quantité du substrat sur la production en masse des asticots : La mise en place des expérimentations a nécessité l'utilisation de différentes quantités du substrat qui ont été pesées (4 kg et 8 kg) et distribuées dans des bacs en fer de 0,32 m² et 0,20 m de profondeur. Ensuite, différentes quantités d'eau ont été ajoutées et mélangées à la fiente. Pour 4 kg de substrat, les volumes d'eau étaient de 4 litres, 7 litres et 10 litres ; il était de 8 litres et 11 litres pour 8 kg de substrat (Tableau 1). Le dispositif expérimental utilisé était un bloc complet aléatoire (blocs dispersés dans le temps) à 12 répétitions (blocs) où les blocs étaient assimilés à des essais successifs (CIRAD-GRET, 2002 ; Dagnelie, 2003 ; Payne *et al.*, 2008). Ainsi, cinq traitements par bloc ont été mis en place. Au total, 12 essais ont été réalisés de juillet à septembre 2015 avec un intervalle de deux à trois jours entre les essais. Après l'exposition aux pontes, les bacs en fer ont été fermés 24 heures plus tard avec des sacs de conditionnement de céréales. Ce délai a été jugé nécessaire pour obtenir suffisamment de pontes des mouches. Après le mélange avec de l'eau, l'épaisseur du substrat a été mesurée (Tableau 1) puis un prélèvement de fiente par traitement a été fait pour déterminer le pH initial. Le pH final a été déterminé après extraction des larves. L'extraction s'est déroulée le 4^{ème} jour (jour de mise en place y compris). La

méthode d'extraction utilisée était la migration qui est basée sur le comportement lucifuge des larves matures. D'abord, la surface du substrat a été raclée jusqu'à la mise à nue des asticots en migration vers le fond des bacs. Ensuite, des tamis de différentes mailles (de 0,2 à 0,4 cm) ont été utilisés pour permettre aux asticots d'atteindre le récipient placé en dessous du tamis laissant ainsi les débris de substrat maintenus sur le tamis. Plusieurs tamisages ont été nécessaires pour rendre les larves propres. Les asticots ainsi extraits ont été pesés au laboratoire situé à Bobo-Dioulasso, à une quinzaine de km de la station expérimentale. Les pH (initial et final) ont été aussi mesurés au laboratoire à l'aide d'un pH-mètre. Afin de déterminer la biomasse fraîche larvaire et la masse de 100 larves, des pesées ont été effectuées à l'aide d'une balance électronique (précision $\pm 0,01$ g). La teneur en eau des larves a été obtenue par séchage à l'étuve pendant 72 heures à 70 °C. La même procédure a été utilisée pour déterminer l'humidité initiale du substrat. A cet effet, 3 x 500 g de fiente ont été prélevés pour le séchage (Tableau 1). Le taux d'humidité du substrat a été obtenu selon la formule suivante :

Humidité du substrat = (((masse fraîche - masse sèche) + masse d'eau ajoutée à l'exposition du substrat) x 100) / masse sèche.

Tableau 1: Epaisseur et taux d'humidité du substrat en fonction de la quantité de substrat et du volume d'eau.

Traitements (substrat + eau)	Epaisseur du substrat (cm) ± écart type	Humidité du substrat (%)
4Kg+4L	4,17 ± 0,522	111,04
4Kg+7L	4,67 ± 0,003	186,04
4Kg+10L	4,08 ± 0,440	261,04
8Kg+8L	8,00 ± 0,100	105,52
8Kg+11L	7,67 ± 0,030	143,02

Influence de la surface d'oviposition sur la production des asticots : L'essai portant sur l'effet de la surface d'oviposition sur la production en masse d'asticots a été réalisé d'octobre à novembre 2016. Il a consisté à produire les asticots en milieu naturel dans trois récipients en plastique (bidons coupés en deux) de surfaces différentes : 0,07 m² ($\approx 0,2$ m de profondeur) ; 0,09 m² ($\approx 0,15$ m de profondeur) et 0,11 m² ($\approx 0,10$ m de profondeur). Le dispositif expérimental était constitué de blocs complètement aléatoires à 3 traitements (surfaces d'oviposition) et 3 répétitions par traitement (CIRAD-GRET, 2002 ; Dagnelie, 2003 ; Payne *et al.*, 2008). Au total, 5 essais (blocs) successifs ont été effectués. La mise en place des essais a été

effectuée avec 2 kg de substrat et 3 litres d'eau. Les variables étudiées ont porté sur la biomasse fraîche, la biomasse sèche larvaire, la masse de cent larves, le nombre de larves et le pH avant les pontes et après l'extraction des larves du substrat restant. Une estimation du nombre de larves par surface d'oviposition a été faite comme suit:

Nombre de larves = (biomasse fraîche larvaire x 100)/masse de cent larves.

Influence des périodes de l'année sur la production des asticots : Au cours de la période allant de juillet 2017 à avril 2018, une production de larves a été réalisée à quatre périodes caractérisées par des saisons différentes : juillet (saison pluvieuse), octobre

(fin saison pluvieuse), janvier (saison sèche froide) et avril (saison sèche chaude). Chaque période est caractérisée par des conditions climatiques relativement constantes et par l'état de la végétation. Cette expérience avait pour objectif de déterminer l'évolution de la production larvaire en fonction du temps. Le dispositif expérimental était complètement aléatoire à 3 essais successifs (jours) au cours de chaque période. Chaque essai a été répété 6 fois. Un mélange de 1 kg de fiente avec 1,5 litre d'eau était exposé à l'intérieur d'assiettes en plastique de surface 0,1 m² et de profondeur 0,04 m. La variable mesurée était la biomasse fraîche larvaire.

Identification des espèces de mouches : Des échantillons de larves ont été régulièrement prélevés lors de l'extraction des larves dans les substrats. Ces larves ont été ensuite placées dans des boîtes de Petri et conservées jusqu'à l'émergence des imagos qui ont été identifiés de façon morphologique au laboratoire à l'aide de la loupe binoculaire.

Analyses statistiques : Les analyses statistiques ont été réalisées avec GenStat Edition 11 (VSN International Ltd, <http://www.vsn.co.uk>) et R version 3.4.3 (R Development Core Team, <http://www.R-project.org>) (tests de normalité, d'égalité des variances et analyses de régression). Le test de Shapiro-Wilk (Shapiro et Wilk, 1965) ainsi que le test de Bartlett

(Bartlett, 1937ab) ont été réalisés afin de vérifier respectivement la normalité des données et l'homogénéité des variances. Les analyses de régression linéaire multiple ont été effectuées avec la biomasse fraîche larvaire comme variable dépendante. Pour l'influence de l'humidité et de la quantité du substrat sur la production des asticots, les probabilités de distribution (normalité et égalité des variances) étaient inférieures à 5%. Alors, un ajustement suivant le modèle linéaire généralisé (GLM) a été réalisé avec la distribution "Gamma" et la fonction de lien "inverse". Le modèle a été fixé avec le test de Wald. L'effet fixé est le "traitement" (Nelder et Wedderburn, 1972). Pour analyser l'influence de la surface d'oviposition sur la production des asticots, les probabilités de distribution étaient supérieures à 5%. Ainsi, les variables ont été soumises à l'analyse de la variance (ANOVA) au seuil de probabilité de 5% suivie du contraste de Tukey pour la séparation des moyennes lorsque des différences significatives ont été observées (Fisher, 1919). Quant à l'influence des périodes de l'année sur la biomasse fraîche larvaire, les données ont été soumises au modèle linéaire généralisé à effets mixtes (GLMM) suivant la loi "Gamma" et la fonction de lien "inverse". Le modèle a été fixé avec le test de Wald avec "période de l'année" comme facteur fixé et l'"essai" comme facteur aléatoire (Schall, 1991).

RESULTATS

Influence de l'humidité et de la quantité du substrat sur la production des asticots : La biomasse fraîche larvaire, la biomasse sèche larvaire, la masse de cent larves, la teneur en eau des larves et le pH sont fortement influencés par le volume d'eau utilisé ($P < 0,001$) (Tableau 2). En effet, la biomasse fraîche larvaire maximale et minimale ont été obtenues respectivement avec 4 kg + 7 litres d'eau et 4 kg + 10 litres d'eau. Les mélanges de 4 litres et 7 litres d'eau dans 4 kg de substrat, et de 8 litres et 11 litres d'eau dans 8 kg de substrat donnent des biomasses larvaires similaires (Tableau 2). Un résultat similaire a été obtenu avec la biomasse sèche larvaire. Des différences apparaissent au niveau de la masse de cent larves, la teneur en eau des larves et le pH du substrat. La

masse de cent larves indique que le traitement 8 kg + 11 litres permet un développement optimal des larves (2,3 g pour 100 asticots) alors que le traitement 4 kg + 7 litres permet un développement relativement faible des asticots (0,7 g). Quant au taux d'accumulation de l'eau par les asticots, il est plus important pour le traitement 4 kg + 7 litres (83,5%) et faible pour 4 kg + 10 litres (70,1%) et 8 kg + 11 litres (73,9%). Les résultats montrent également des variations du ratio pH entre les différents traitements. En effet, ce ratio a évolué de 1,4 (4 kg + 7 l) à 0,9 (4 kg + 10 l). L'identification des espèces de mouches a montré que plus de 99% des larves étaient de l'espèce *Musca domestica* (L.). Mais de rares larves de Calliphoridae du genre *Chrysomya* ont été observées.

Tableau 2: Biomasse fraîche larvaire, masse de cent larves, teneur en eau des larves et pH du substrat (\pm écarts types) en fonction de l'humidité et de la quantité du substrat.

Traitements	BFL (g)	BSL (g)	MCL (g)	TEL (%)	Ratio pH2 : pH1
4Kg+4L	483,3 \pm 75,2a	85,5 \pm 8,6a	1,3 \pm 0,3b	82,1 \pm 1,5b	1,3 \pm 0,1b
4Kg+7L	604,9 \pm 152,3a	99,4 \pm 24,4a	0,7 \pm 0,1c	83,5 \pm 0,2a	1,4 \pm 0,0a
4Kg+10L	05,5 \pm 07,6b	01,5 \pm 1,8b	1,0 \pm 0,3b	70,1 \pm 12,3c	0,9 \pm 0,0d
8Kg+8L	453,5 \pm 52,9a	84,0 \pm 10,5a	1,1 \pm 0,3b	81,4 \pm 1,9b	1,3 \pm 0,0b
8Kg+11L	472,3 \pm 245,7a	108,0 \pm 32,9a	2,3 \pm 0,5a	73,9 \pm 7,2c	1,2 \pm 0,1c
Statistiques	F = 7,89 P < 0,001 Ddl = 4	F = 9,88 P < 0,001 Ddl = 4	F = 40,35 P < 0,001 Ddl = 4	F = 6,28 P < 0,001 Ddl = 4	F = 417,88 P < 0,001 Ddl = 4

Dans la même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%. pH1 : pH du substrat avant la ponte des mouches, pH2 : pH après l'extraction des asticots, BFL : biomasse fraîche larvaire, BSL : biomasse sèche larvaire, MCL : masse de cent larves, TEL : Teneur en eau des larves.

Influence de la teneur en eau des asticots, de l'épaisseur et de l'humidité du substrat sur la biomasse fraîche larvaire : Les variables indépendantes utilisées dans la régression linéaire multiple (épaisseur du substrat, humidité du substrat et teneur en eau des asticots) permettent de traduire les variations observées dans la biomasse fraîche larvaire

à hauteur de 74 % (Tableau 3). Les résultats montrent que l'épaisseur du substrat n'a aucun effet sur la biomasse larvaire (P = 0,242). En revanche, l'humidité du substrat et la teneur en eau des asticots influencent respectivement de façon négative et positive cette production (P < 0,05).

Tableau 3 : Coefficients de régression et statistique entre la teneur en eau des asticots, l'épaisseur, l'humidité du substrat et la biomasse fraîche larvaire.

Variables	Coefficient de régression	Erreur standard	Valeur de t (68)	Signification
Epaisseur du substrat (cm)	-16,60	14,10	-1,18	P = 0,242
Humidité du substrat (%)	-2,65	0,47	-5,66	P = 0,001
Teneur en eau des asticots (%)	5,15	1,15	4,48	P < 0,001

Coefficient de corrélation multiple de Pearson (r) = 0,74 ; coefficient de détermination (r²) = 0,54 ; statistique-F (F = 26,72 ; P < 0,001 ; ddl = 3 ; SE : 176,8).

Influence de la surface d'oviposition sur la production des asticots : Le Tableau 4 montre que la surface d'oviposition (0,07 m² ; 0,09 m² et 0,11 m²) a un effet sur la biomasse fraîche larvaire, la masse de cent larves, le nombre de larves et le pH (P < 0,001). La biomasse fraîche des larves et le nombre de larves sont d'autant plus élevés que la surface de ponte est

plus élevée. Quant à la masse de cent larves, elle a été plus faible à 0,11 m² (2 g) et plus importante à 0,07 m² (2,8 g) et 0,09 m² (2,6 g). La tendance contraire a été enregistrée pour le ratio pH. Ce ratio a été de 1 pour 0,07 m² ; 1,1 pour 0,09 m² et 1,2 pour 0,11 m² (Tableau 4).

Tableau 4 : Biomasse fraîche larvaire, masse de cent larves, nombre de larves et pH du substrat (\pm écarts types) en fonction de la surface d'oviposition.

Surface d'oviposition (m ²)	Biomasse fraîche larvaire (g)	Masse de cent larves (g)	Nombre de larves	Ratio pH2 : pH1
0,07 m ²	127,5 \pm 39,0c	2,8 \pm 0,3a	4691,9 \pm 1575,2c	1,0 \pm 0,1b
0,09 m ²	213,7 \pm 55,3b	2,6 \pm 0,4a	8696,9 \pm 2955,1b	1,1 \pm 0,1a
0,11 m ²	257,2 \pm 37,7a	2,0 \pm 0,4b	13501,6 \pm 4208,0a	1,2 \pm 0,0a
Statistiques	F = 32,7 P < 0,001 Ddl = 2	F = 15,1 P < 0,001 Ddl = 2	F = 30,3 P < 0,001 Ddl = 2	F = 27,6 P < 0,001 Ddl = 2

Dans la même colonne, les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. pH1 : pH du substrat avant l'oviposition des mouches, pH2 : pH après l'extraction des asticots.

Caractéristiques de la biomasse larvaire : Les résultats de la régression linéaire multiple (Tableau 5) montrent que la biomasse fraîche larvaire est caractérisée par non seulement le nombre de larves (\approx

nombre d'œufs éclos) mais également par la masse de cent larves ($P < 0,001$, $r = 0,92$). En d'autres termes, la production larvaire est définie par le nombre des larves et la masse des larves.

Tableau 5 : Coefficients de régression et statistique entre la masse de cent larves, le nombre de larves et la biomasse fraîche larvaire.

Variabiles	Coefficient de régression	de	Erreur standard	Valeur de t (102)	Signification
Nombre de larves	0,01		0,001	14,18	$P < 0,001$
Masse de cent larves	51,61		17,72	02,91	$P = 0,004$

Coefficient de corrélation multiple de Pearson ($r = 0,85$; Coefficient de détermination ($r^2 = 0,73$; statistique-F ($F = 134,7$; $P < 0,001$; $ddl = 2$; $SE : 114,3$).

Influence de la biomasse larvaire sur le pH du substrat

Evolution du pH en fonction de l'humidité et de la quantité du substrat : Le pH du substrat avant les pontes a été relativement constant entre les traitements

et proche de la neutralité. Après l'extraction des larves, il a évolué selon les traitements vers des valeurs basiques (4 kg + 4l ; 4 kg + 7l ; 8 kg + 8l et 8 kg + 11l) ou acides (4 kg + 10 l) (Figure 1).

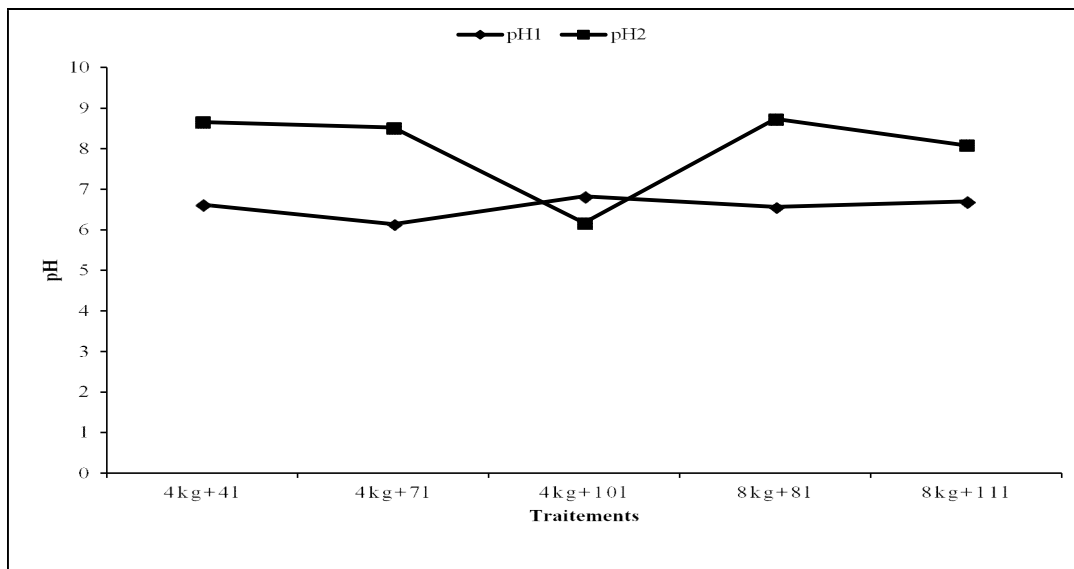


Figure 1 : Evolution du pH en fonction de l'humidité et de la quantité du substrat. pH1 : pH du substrat avant les pontes, pH2 : pH après l'extraction des asticots.

Evolution du pH en fonction de la surface d'oviposition : La Figure 2 indique l'évolution du pH du substrat avant les pontes (pH1) et après l'extraction des larves (pH2) en fonction de la surface d'oviposition. Le pH1 a été constant (autour de 7) entre les différents

traitements contrairement au pH2. Ce dernier a relativement varié vers l'acidité pour la petite surface (0,07 m²) et l'alcalinité pour les surfaces de 0,09 m² et 0,11 m².

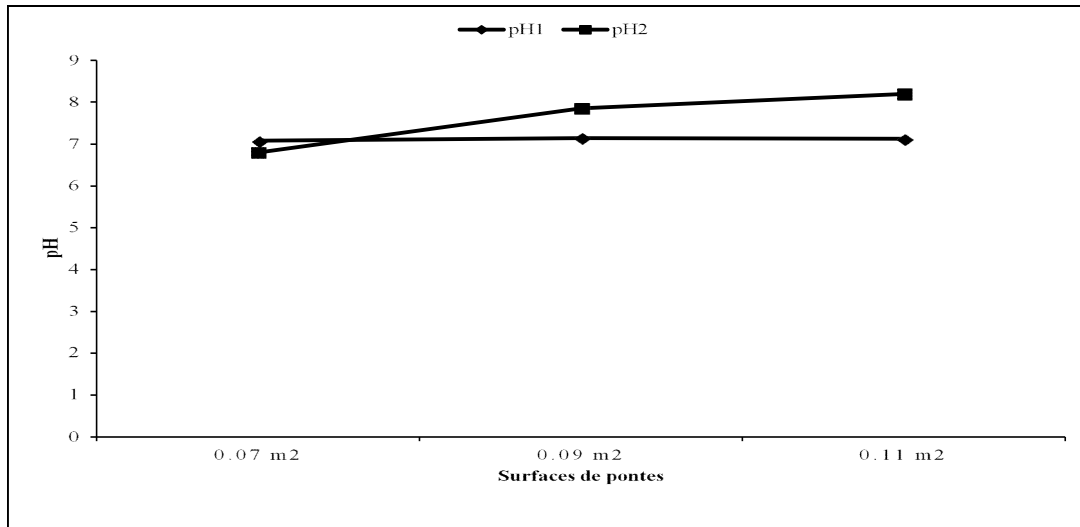


Figure 2 : Evolution du pH en fonction de la surface d'oviposition. pH1 : pH du substrat avant l'oviposition des pontes, pH2 : pH après l'extraction des asticots.

Corrélation entre la biomasse larvaire et le pH : Le ratio du pH avant l'oviposition des mouches sur le pH après l'extraction des asticots a évolué de façon significative ($P < 0,001$; $r = 0,77$) et positive suivant la

biomasse fraîche larvaire (Figure 3). En d'autres termes, le pH a varié suivant le niveau de production des larves.

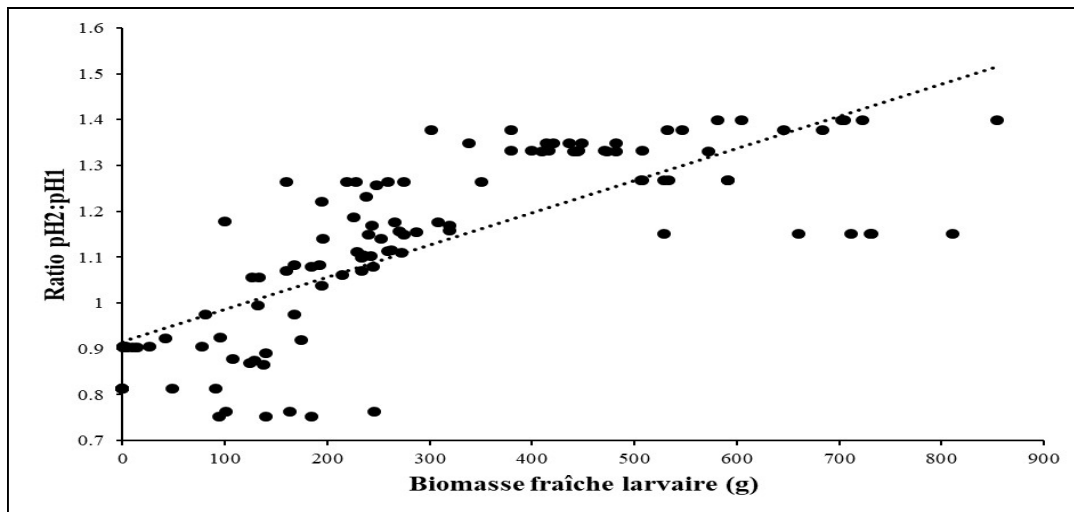


Figure 3 : Corrélation entre la biomasse larvaire et le ratio pH2/pH1 : résultat de la régression linéaire simple de 2015 à 2016. Equation de la droite de régression : $y = 855x - 666,6$ ($t = 13,14$; $SE = 65$; $P < 0,001$). Coefficient de corrélation de Pearson ($r = 0,77$; coefficient de détermination ($r^2 = 0,60$; statistique-F ($F = 172,77$; $P < 0,001$; $ddl = 1$). pH1 : pH du substrat avant l'oviposition des mouches ; pH2 : pH après l'extraction des asticots.

Influence des périodes de l'année sur la biomasse fraîche des asticots en oviposition naturelle : Une différence significative a été obtenue entre les biomasses fraîches larvaires des différentes périodes de l'année ($F = 58,12$; $P < 0,001$; $ddl = 3$) (Figure 4). En effet, elle était significativement plus importante en juillet (239 g) suivie des mois d'octobre (123,94 g) et de

janvier (97,72 g) qui avaient une production similaire. La période la moins productive était représentée par le mois d'avril (86,06 g) pendant lequel la biomasse larvaire représentait moins de la moitié de celle de juillet. Des observations portant sur les espèces de mouches impliquées ont montré que ce système de production des larves n'est favorable qu'à l'espèce

Musca domestica (L.). Cependant, quelques rares Calliphoridae du genre *Chrysomya* ont été retrouvées

parmi les larves de la mouche domestique, surtout au cours de la période de juillet.

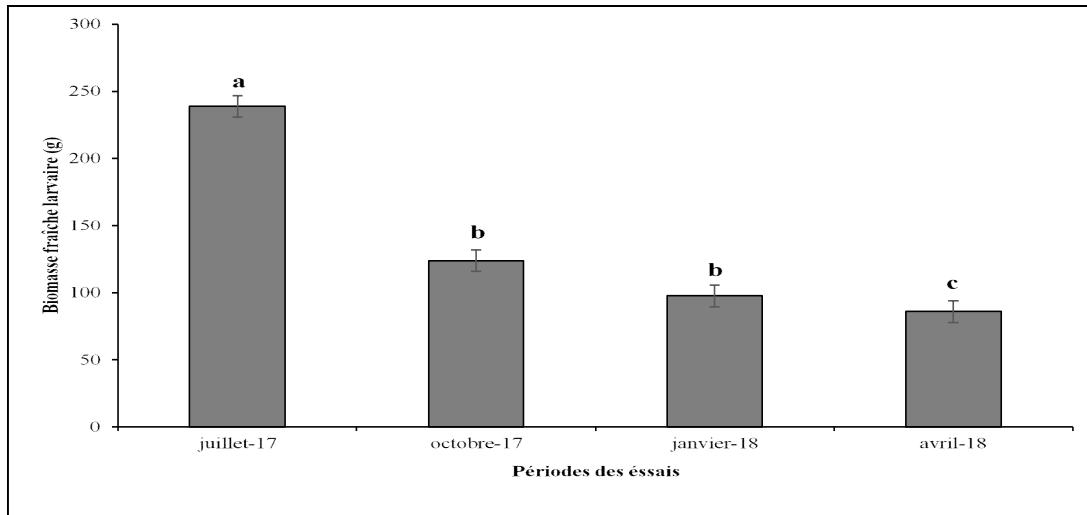


Figure 4 : Influence des périodes de l'année sur la biomasse fraîche larvaire (\pm erreur standard) en oviposition naturelle : résultat du GLMM ($F = 58,12$; $P < 0,001$; $ddl = 3$). Les moyennes suivies des mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de probabilité de 5%.

DISCUSSION

De façon générale, les conditions de production, notamment l'humidité, la quantité du substrat ainsi que la surface de pontes et les saisons sont des facteurs essentiels qui peuvent influencer la production des asticots en milieu naturel. En effet, des variations significatives du niveau de production des larves ont été observées en fonction des différents facteurs étudiés. Les résultats indiquent aussi que le niveau d'humidité du substrat influence la biomasse (fraîche ou sèche larvaire) et le développement des larves. L'humidité du substrat permettant une production importante des larves se situe entre 105,52% (8 kg + 8 l) et 186,04% (4 kg + 7 l). L'excès d'eau (261,04% d'humidité) a un impact négatif sur cette production à partir de 10 litres (4 kg de substrat), mais également a l'inconvénient d'allonger le temps d'extraction des larves. Ces observations sont liées au fait que les mouches ne pondent pas dans l'eau stagnante à la surface du substrat (réduction du nombre de larves et une chute du pH à l'extraction) et les larves également s'y développent difficilement. Des observations similaires ont été faites par Hogsette (1996) et Moon *et al.* (2001) qui ont montré l'impact des propriétés physico-chimiques et de l'humidité du substrat sur le développement des larves de la mouche domestique et de *Stomoxys calcitrans* (L.). A cela s'ajoute le ralentissement et la réduction de l'éclosion des œufs (Axtell, 1986 ; Cickova *et al.*, 2014). Une étude réalisée

aux Etats-Unis montre qu'il existe une corrélation significative et positive entre l'humidité (de 44 à 80%) des fientes de volailles (à l'état naturel dans les fermes) et l'abondance du dernier stade larvaire (L3) de *M. domestica* dans le même espace et temps (Tobin & Pitts, 2002). En d'autres termes, dans des substrats secs, plus l'humidité augmente, plus il y a des stades L3, ensuite le nombre d'asticots chute à partir de 78% d'HR. Des observations lors de la mise en place des essais de la présente étude ont montré que l'aspect de la surface du substrat avait un effet sur la stagnation de l'eau à la surface du substrat mais également sur les pontes. En effet, lorsque la quantité d'eau est élevée dans le substrat, la stagnation est beaucoup plus marquée si la surface du substrat est plane, ce qui diminue la surface disponible pour les pontes. Les travaux de Ward *et al.* (1999) et Pastor *et al.* (2011) ont montré que *M. domestica* et *Scathophaga stercoraria* préfèrent pondre sur les surfaces dont l'aspect est hétérogène. C'est-à-dire une surface faite de creux et de bosses pour protéger leurs œufs des conditions environnementales défavorables telles que l'inondation et la dessiccation. Lors de la production des asticots, l'évolution du pH a été fortement liée à la biomasse fraîche larvaire. Lorsque la biodégradation est complète, le pH du substrat devient alcalin (Cickova *et al.*, 2015 ; Bloukounon-Goubalan *et al.*, 2017). Cependant, pour parvenir à une biodégradation assez

complète, Bloukounon-Goubalan *et al.* (2017) ont soumis leur substrat à trois séries de dégradation pour une durée de 12 jours. Le pH est donc un indicateur du niveau d'épuisement du support d'élevage des asticots. Les travaux de Beard et Sands (1973), Cickova *et al.* (2015) et Hussein *et al.* (2017) ont montré que lors de la dégradation des déjections animales, des activités métaboliques réalisées essentiellement par les bactéries produisaient des métabolites (ammonium, azote) et influençaient le pH du milieu. Ces auteurs ont aussi souligné que cette activité métabolique des bactéries interagissait avec celle des larves en développement. Ces interactions pourraient donc expliquer l'acidification (ou l'alcalinisation) du substrat. La biomasse fraîche larvaire n'a pas évolué malgré l'augmentation de la quantité du substrat. Ce résultat est imputable à la dimension de l'ouverture du récipient (0,32 m²) disponible pour les pontes des mouches. La taille de la surface d'oviposition a donc un effet direct sur la biomasse fraîche larvaire. Ainsi, la production a été plus importante (257,2 g) avec le récipient de surface 0,11 m² et plus faible (127,5 g) avec celui de surface 0,07 m². Plus la surface est grande, plus il y a des sites d'oviposition (creux et bosses) (Ward *et al.*, 1999 ; Pastor *et al.*, 2011) et par conséquent une biomasse larvaire plus importante si les conditions environnementales sont favorables. Cependant, cela a l'inconvénient d'épuiser rapidement le substrat (caractérisé par une alcalinisation du substrat) et donc de créer une compétition entre les larves qui est caractérisée par une réduction de la masse des asticots (Barnard *et al.*, 1998 ; Pieterse et Gloy, 2013). Une certaine quantité de substrat serait donc nécessaire en fonction de la dimension de chaque surface d'oviposition. Au contraire, lorsque la surface est plus petite (0,07 m²), il y a moins de pontes. Le substrat apparaît ainsi en excès par rapport au nombre de larves (caractérisé par un pH plus acide à l'extraction). La biomasse des asticots évolue en fonction des périodes de l'année. Les conclusions d'études réalisées en Côte d'Ivoire (Bouafou, 2011), au Mali (Koné *et al.*, 2017) et au Burkina Faso (Sanou *et al.*, 2018) font aussi état de l'effet des saisons et donc des variations climatiques sur la production des larves. Dans la présente étude, les périodes sèches, qu'elles soient chaudes ou froides (avril et janvier) sont peu favorables à la production de masse des larves de mouches. Le mois de janvier est caractérisé au Burkina Faso par des températures basses (24 à 27 °C) et une importante évaporation (9 à 10 mm) tandis que le mois d'avril est caractérisé par de fortes températures (30 à 33 °C) et

une évaporation importante (8 à 10 mm) (ASECNA-Burkina Faso, 2018). Les basses températures influencent donc négativement l'incubation des œufs ce qui a pour conséquence une réduction de leur éclosion et le ralentissement du développement des larves (Cickova *et al.*, 2014). De plus, l'évaporation entraîne un dessèchement rapide du substrat réduisant la disponibilité des nutriments pour les larves. En effet, les larves ne consomment que les nutriments en solution (Beard et Sands, 1973). Il est nécessaire d'ajouter à ces observations, l'influence de la dynamique des imagos sur le site en fonction des saisons comme l'a mentionnée Asiri (2017). Des prospections écologiques réalisées en Thaïlande par Ngoen-klan *et al.* (2011) indiquent que les populations adultes de *M. domestica* et de *C. megacephala* F. sont plus abondantes en saison pluvieuse et moins abondantes en saison sèche et en période froide. Des observations similaires ont été aussi faites au Mexique par Cruz-Vázquez *et al.* (2004) sur la dynamique de *Stomoxys calcitrans*, une mouche Muscidae très proche de la mouche domestique. Dadour & Voss (2009) en Australie ont aussi indiqué que le niveau d'ammonium dans l'air ambiant qui est fonction des saisons pouvait influencer la dynamique des imagos. Ainsi, dans la présente étude, les imagos sont peut-être peu dynamiques au cours de janvier du fait que les odeurs libérées par les substrats en décomposition se dissipent très lentement dans l'air et donc réduisent l'attraction des mouches. D'où la nécessité d'exposer les substrats pendant une durée suffisante au cours des périodes froides, de pluies ou de vents. L'effet cumulé de la dynamique des adultes et des conditions de production permettent d'expliquer les résultats de la présente étude. Deux espèces de mouches, *M. domestica* et *Chrysomya* sp. ont été retrouvées dans la décomposition du substrat. Ces espèces de mouches ont été également observées lors des travaux de Ngoen-klan *et al.* (2011) et Cickova *et al.* (2015). Cependant, l'espèce de mouche largement représentée dans la présente étude est *M. domestica* (L.). Le délai et le substrat de production, la non fermentation du substrat ou d'utilisation d'attractifs, la dynamique des imagos et l'écologie de la station expérimentale sont probablement les raisons de la prédominance de cette espèce. En effet, le type de substrat utilisé est un facteur important de mobilisation des mouches saprophages. Ngoen-klan *et al.* (2011) ont ainsi utilisé les viscères de bovin comme attractif et ont capturé plus de *C. megacephala* (68,37%) que de *M. domestica* (1,3%) en Thaïlande. Beard & Sands (1973) et Hussein *et al.* (2017) ont souligné que *M.*

domestica est l'une des mouches les plus actives dans la décomposition des déjections animales et plus spécifiquement dans la dégradation aérobie de la fiente de volaille. Selon Beard & Sands (1973), la fiente de volaille fournit des sources protéiques adéquates pour la maturation des œufs de la mouche mais également

pour le développement des larves. En outre, la composition des espèces bactériennes contenues dans la fiente (influencée par le pH du milieu) et le niveau de décomposition du substrat sont des facteurs favorables à *M. domestica* (Lam et al., 2007 ; Talley et al., 2009 ; Bloukounon-Goubalan et al., 2017).

CONCLUSION

La présente étude montre que, si la production de mouches par oviposition naturelle est un système de production de protéine durable et économique (Koné et al., 2017 ; Roffeis et al., 2018), différents facteurs peuvent impacter significativement cette production. Ce travail apporte des informations utiles afin d'optimiser davantage la production des larves de mouches en milieu rural en Afrique de l'Ouest, où l'utilisation de larves de mouches est déjà pratiquée par un nombre significatif de petits producteurs (Pomalégni et al., 2016, 2017 ; Sanou et al. 2018). Si les conditions optimales doivent être recherchées individuellement

pour chaque système, nous avons montré l'importance de facteurs tels que la proportion d'eau à intégrer à un substrat, la quantité et l'épaisseur de substrat à intégrer dans les récipients, la surface de ponte et la saison. Les asticots ainsi produits représentent une alternative en source protéique disponible pour la nutrition aviaire des petits aviculteurs en Afrique de l'Ouest. Cette étude montre aussi la nécessité d'une étude complémentaire sur le cycle de développement larvaire et la biologie des imagos en fonction des variations climatiques dans la sous-région.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec l'appui du projet "Insects as Food and Feed in West Africa (IFWA)" qui a été financé par "Swiss Agency for Development and Cooperation" et "Swiss National Science Foundation", dans le cadre de "Swiss Programme for Research on Global Issues for Development (R4D)". Les auteurs remercient M. Souleymane Ouattara, M. Dimitri Sanou,

M^{me} Jeanne Bamogo et M^{me} Florence Sankara pour l'aide dans la collecte des données. Marc Kenis a été partiellement financé par le CABI Development Fund (contributions du « Australian Centre for International Agricultural Research », « UK's Department for International Development », et autres).

REFERENCES

- ASECNA (Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar), 2018. <https://www.asecna.aero/index.php/fr/nos-metiers/meteorologie>.
- Asiri BMK, 2017. The Influence of Environmental Factors on Biological Parameters of *Musca Domestica* (Diptera: Muscidae). International Journal of Chinese Medicine 1 (3): 81-87.
- Axtell RC, 1986. Fly control in confined livestock and poultry production. Ciba-Geigy, Etats-Unis. 59 pp.
- Barnard DR, Harms RH, Sloan DR, 1998. Biodegradation of Poultry Manure by House Fly (Diptera: Muscidae). Environmental Entomology 27 (3): 600-605.
- Bartlett MS, 1937a. Properties of sufficiency and statistical tests. Proceedings of the Royal Society series A 160 (901): 268-282.
- Bartlett MS, 1937b. Some examples of statistical methods of research in agriculture and applied biology. Journal of the Royal Statistical Society (Supplement) 4 (2): 137-183.
- Beard R. et Sands DC, 1973. Factors affecting the degradation of poultry manure by flies. Environmental Entomology 2 (5): 801-806.
- Bloukounon-Goubalan AY, Saïdou A, Togbé E, Chabi F, Babatoundé S, Chrysostome CAAM, Kenis M, Mensah GA, 2017. Physical and Chemical Properties of Animals' Organic Residues Decomposed by *Musca domestica* and *Calliphora vomitoria* Larvae. Journal of Agriculture and Environmental Sciences 6 (1) : 92-104.
- Bouafou KGM, 2011. Revue bibliographique sur les asticots et leur emploi dans l'alimentation animale. Journal of Animal & Plant Sciences 12 (2): 1543-1551.
- Brown O. et Crawford A, 2008. Evaluation des conséquences des changements climatiques sur la sécurité en Afrique de l'Ouest : Etude de

- cas national du Ghana et du Burkina Faso. Institut international du développement durable, Canada. 74 pp.
- Cickova H., Kozanek M. et Takac P., 2014. The influence of housefly *Musca domestica* embryo age on viability in water and at low temperatures. *Medical and Veterinary Entomology* 28: 70-76.
- Cickova, H, Newton GL, Lacy RC, Kozanek M, 2015. The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management* 35: 68-80.
- CIRAD-GRET, 2002. Memento de l'agronome. Editions Quae, France. 1691 pp.
- Cruz-Vázquez C, Mendoza IV, Parra MR., García-Vázquez Z, 2004. Influence of temperature, humidity and rainfall on field population trend of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae) in a semiarid climate in Mexico. *Parasitologia Latinoamericana* 59 (3 & 4): 99-103.
- Dagnelie P, 2003. Principes d'expérimentation: Planification des expériences et analyse de leurs résultats. Les Presses agronomiques de Gembloux, Gembloux, Belgique. 398 pp.
- Dadour IR. et Voss SC, 2009. Investigation of the factors affecting adult fly production in biosolid cake. *Environmental Entomology* 38 (3): 633-638.
- FAO, 2015. La situation des marchés des produits agricoles 2015-2016. Commerce et sécurité alimentaire : trouver un meilleur équilibre entre les priorités nationales et le bien commun. Rome, Italie. 95 pp.
- Fisher RA, 1919. XV-The correlation between relatives on the supposition of Mendelian Inheritance. *Transactions of the Royal Zoological Society of Edinburgh* 52: 399-433.
- Hogsette JA, 1996. Development of house flies, *Musca domestica* L., in sand containing varying amounts of manure solids and moisture. *Journal of Economic Entomology* 89 (4): 940-945.
- Hussein M, Pillai VV, Goddard JM, Park HG, Kothapalli KS, Ross DA, Ketterings QM, Brenna JT, Milstein MB., Marquis H., Johnson PA, Nyrop JP, Selvaraj V, 2017. Sustainable production of housefly (*Musca domestica*) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure. *PLoS ONE* 12 (2): 1-19.
- Kenis M, Kone N, Chrysostome CAAM, Devic E, Koko GKD, Clotey VA, Nacambo S, Mensah GA, 2014. Insects used for animal feed in West Africa. *Entomologia* 2 (218): 107-114.
- Kenis M, Bouwassi B, Boafo H, Devic E, Han R, Koko G, Koné N'G, Maciel-Vergara G, Nacambo S, Pomalégni SCB, Roffeis M, Wakefield M, Zhu F, Fitches E, 2018. Small-scale fly larvae production for animal feed, In: Halloran A, Flore R, Vantomme P, Roos N. (Eds.). Springer. 239-261 pp.
- Koné N'G, Sylla M, Nacambo S, Kenis M, 2017. Production of house fly larvae for animal feed through natural oviposition. *Journal of Insects as Food and Feed* 3 (3): 177-186.
- Lam K, Babor D, Duthie B, Babor E, Moore M, Gries G, 2007. Proliferating bacterial symbionts on house fly eggs affect oviposition behavior of adult flies. *Animal Behaviour* 74 (1): 81-92.
- Moon R, Hinton J, O'Rourke S, Schmidt D, 2001. Nutritional value of fresh and composted poultry manure for house fly (Diptera: Muscidae) larvae. *Journal of Economic Entomology* 94 (5): 1308-1317.
- Nelder JA. et Wedderburn RWM, 1972. Generalized Linear Models. *Journal of the Royal Statistical Society* 135 (3): 370-384.
- Ngoen-klan R, Moophayak K, Klong-klaew T, Irvine KN, Sukontason KL, Prangkiro C, Somboon P, Sukontason K, 2011. Do climatic and physical factors affect populations of the blow fly *Chrysomya megacephala* and house fly *Musca domestica*? *Parasitology Research* 109 (5):1279-1292.
- Ouédraogo B, Bale B, Zoundi SJ, Sawadogo L, 2015a. Caractéristiques de l'aviculture villageoise et influence des techniques d'amélioration sur ses performances zootechniques dans la province du Sourou, région Nord-Ouest Burkinabè. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9 (3): 1528-1543.
- Ouédraogo B, Gnanda IB, Sanfo R, Zoundi SJ, Bayala B, 2015b. Etude comparative des performances réalisées avec l'incorporation de la farine de co-produits de volaille et la farine des asticots dans des rations de poulets de chair au Burkina Faso. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies* 25: 148-161.
- Pastor B, Cickova H, Kozanek M, Martinez-Sanchez A, Takac P, Rojo S, 2011. Effect of the size of the pupae, adult diet, oviposition substrate and adult population density on egg production in *Musca domestica* (Diptera: Muscidae).

- European Journal of Entomology 108: 587-596.
- Payne RW, Harding SA, Murray DA, Soutar DM, Baird DB, Glaser AI, Channing IC, Welham SJ, Gilmour AR, Thompson R, Webster R, 2008. The guide to Genstat Release 11: Part 2-Statistics, VSN International, Hertfordshire, United Kingdom. 1158 pp.
- Pousga S. et Boly H, 2009. Synthèse des travaux de recherche en aviculture au Burkina Faso. Aviculture Familiale 18 (1 & 2): 28-35.
- Pieterse E. et Gloy EL, 2013. Determination of the influence of a constant nutrient supply on wet yield, dry yield and average weight of *Musca domestica* larvae maintained at different densities. African Entomology 21 (2): 239-242.
- Pomalégni SCB, Gbemavo DSJC, Kpade CP, Babatounde S, Chrysostome CAAM, Koudande OD, Kenis M, Glèlè KRL., Mensah GA, 2016. Perceptions et facteurs déterminant l'utilisation des asticots dans l'alimentation des poulets locaux (*Gallus gallus*) au Bénin. Journal of Applied Biosciences 98: 9330-9343.
- Pomalégni SCB, Gbemavo DSJC, Kpadé CP, Kenis M., Mensah GA, 2017. Traditional use of fly larvae by small poultry farmers in Benin. Journal of Insects as Food and Feed 3: 187-192.
- Pomalégni SCB, 2017. Perceptions, performances zootechniques et qualité nutritionnelle de la viande de poulets locaux (*Gallus gallus*) nourris avec des rations alimentaires à base de larves de mouche (*Musca domestica*, Linnaeus 1758) au Bénin. Thèse de doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Benin. 266 pp.
- Roffeis M, Wakefield ME, Almeida J, Valada TRA, Devic E, Koné N'G, Kenis M, Nacambo S, Fitches E C, Koko GKD, Mathijs E, Achten WMJ, Muys B, 2018. Life cycle cost assessment of insect based feed production in West Africa. Journal of Cleaner Production 199: 792-806.
- Sanou AG, Sankara F, Pousga S, Coulibaly K, Nacoulma JP, Kenis M, Clottey VA, Nacro S, Somda I, Ouédraogo I, 2018. Indigenous practices in poultry farming using maggots in Western Burkina Faso. Journal of insect as Food and Feed 4 (4):219-228.
- Schall R, 1991. Estimation in generalized linear models with random effects. Biometrika 78 (4): 719-727.
- Shapiro SS et Wilk MB, 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). Biometrika 52 (3 & 4): 591-611.
- Talley J, Broce A, Zurek L, 2009. Characterization of stable by (Diptera: Muscidae) larval developmental habitat at round hay bale feeding sites. Journal of Medical Entomology 46 (6): 1310-1319.
- Thiombiano A. et Kampmann D., 2010. Biodiversity atlas of West Africa. BIOTA Volume 2, Ouagadougou, Burkina Faso and Frankfurt am Main, Germany. 625 pp.
- Tobin PC. et Pitts CW, 2002. Geostatistical analysis and the impact of moisture on the spatial and temporal distribution of larval *Musca domestica* (Diptera: Muscidae). Environmental Entomology 31 (2): 273-280.
- Van Huis A, Van IJ, Klunder H, Mertens E, Halloran A, Muir G, Vantomme P, 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. FAO Forestry paper 171, Rome, Italie. 201 pp.
- van Zanten HHE, Mollenhorst H, Oonincx DGAB, Bikker P, Meerburg BG, De Boer IJM, 2015. From environmental nuisance to environmental opportunity: housefly larvae convert waste to livestock feed. Journal of Cleaner Production 102: 362-369.
- Ward PI, Foglia M, Blanckenhorn WU, 1999. Oviposition site choice in the yellow dung fly *Scatophaga stercoraria*. Ethology 105: 423-430.