

Digestion en anaérobiose des fientes de poulets : impacts sur la qualité microbiologique des feuilles de *Solanum macrocarpon* Linn (Solanaceae) cultivé au Bénin

[Anaerobic digestion of poultry manure: impact on the microbiological quality of leaves of *Solanum macrocarpon* Linn (Solanaceae) produced in Benin]

T. Victorien Dougnon¹⁻², Honoré Sourou Bankolé²⁻³, Jean Robert Klotoé², Magloire Legonou³, Tossou Jacques Dougnon², Thomas Adjéhi Dadié⁴, and Michel Boko¹

¹Laboratoire de Toxicologie et de Santé Environnementale,
Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable (CIFRED), Université d'Abomey-Calavi (UAC),
Abomey-Calavi, Benin

²Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA),
Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi (UAC),
Abomey-Calavi, Benin

³Section de l'Hygiène des Eaux et des Aliments (S.H.E.A.),
Service des Explorations Diagnostiques (S.E.D), ex-Laboratoire National de Santé Publique,
Ministère de la Santé,
Cotonou, Benin

⁴UFR des Sciences et Technologie des Aliments,
Université Nangui Abrogoua,
Abobo-Adjamé, Côte d'Ivoire

Copyright © 2014 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: *S. macrocarpon* is a vegetable produced by nearly of 95 % of growers in Benin. Although the consumption of this vegetable is such important in this country, there are no data on its hygienic properties. This study aims to propose a technique for producing vegetable with improved health quality, based on anaerobic biodigestion of poultry manure. A method of vegetable's production based on anaerobic digestion of poultry manure was proposed and evaluated. The study showed that levels of bacteria decreased in the compost, with values from $6.5 \cdot 10^6$ CFU/g to $3.4 \cdot 10^4$ CFU/g for fecal coliforms and from $3.5 \cdot 10^5$ CFU/g to $5.4 \cdot 10^3$ CFU/g for *Enterococcus*. Lead complexed by chemical reactions was reduced with an amount from 2.39 mg/kg to 0.204 mg/kg. The amendante value of these chickens manure was improved by increasing phosphorus with a value from 9.96 % to 16.40 % and the reduction of total nitrogen from 18900 mg/kg to 13096.33 mg/kg. The data from this study allow to consider a large-scale production of *S. macrocarpon* with improved hygienic quality.

KEYWORDS: Vegetables, Bacteria, Heavy metals, Biodigester, Solanaceae.

RESUME: *S. macrocarpon* est un légume produit par près de 95% des maraîchers béninois. Bien que la consommation de ce légume soit tout aussi importante dans ce pays, il n'existe aucune donnée relative à ses propriétés hygiéniques. La présente étude a eu pour objectif de proposer une technique de production du légume de qualité sanitaire améliorée, basée sur la

biodigestion en anaérobiose des fientes de poulets. Une méthode de production du légume basée sur la digestion en anaérobiose des fientes de poulets a été ainsi proposée et évaluée.

L'étude a montré que la charge des bactéries a diminué dans le compost produit, avec des valeurs passant de $6,5.10^6$ UFC/g à $3,4.10^4$ UFC/g pour les coliformes thermotolérants et de $3,5.10^5$ UFC/g à $5,4.10^3$ UFC/g pour *Enterococcus*. Le plomb, complexé par les réactions chimiques, a été réduit avec une teneur passant de 2,39 mg/kg à 0,204 mg/kg. La valeur amendante de ces fientes de poulets a été améliorée à travers l'augmentation des phosphores assimilables, de 9,96 % à 16,40 % et la réduction de l'azote total, de 18900 mg/kg à 13096,33 mg/kg. Les données résultant de cette étude permettent d'envisager une production à grande échelle de *S. macrocarpon* de qualité hygiénique améliorée.

MOTS CLEFS: Légumes, Bactéries, Métaux lourds, Biodigesteur, Solanaceae.

1 INTRODUCTION

Les légumes constituent des apports excellents d'enrichissement et de diversification de l'alimentation de l'homme. Il s'agit de véritables sources primaires de nutriments minéraux, de vitamines et autres composés qui interviennent dans la santé humaine [1]. Au Bénin, nombreux sont les légumes cultivés par les maraîchers. Au nombre de ceux-ci, *S. macrocarpon* occupe une place de choix. En effet, il est produit par près de 95% des maraîchers [2]. L'intérêt accordé à ce légume s'explique par sa forte appréciation par les consommateurs de tous âges. Communément appelé «Gboma» dans une des langues locales du Bénin, *S. macrocarpon* est également consommé dans plusieurs pays de l'Afrique de l'Ouest tels que le Togo, la Côte d'Ivoire et le Nigéria [2-3].

S. macrocarpon est aussi utilisé pour ses vertus thérapeutiques. Ainsi, en Sierra Léone, les feuilles chauffées sont mâchées pour traiter les affections de gorge [4]. Au Nigéria, les fruits sont consommés comme laxatifs et les fleurs pour traiter les affections dentaires [4]. Au Kenya, le jus des racines bouillies sert à lutter contre les troubles de l'estomac [4]. L'extrait aqueux des fruits présenterait des activités hypolipémiantes et hépatoprotectrices [3], [4]. Ceci pourrait constituer une alternative pour la prise en charge des maladies cardiovasculaires dont essentiellement l'hypercholestérolémie qui constituent un véritable problème de santé publique dans le monde [3].

La culture de *S. macrocarpon* nécessite une grande quantité de nutriments. Ces nutriments peuvent facilement être mis à disposition par l'utilisation d'engrais inorganiques. Cependant, il y a de nombreuses conséquences liées à leur utilisation. Au nombre de celles-ci, le lessivage, la dégradation des sols et la pollution de l'eau souterraine peuvent être cités [5]. C'est pourquoi la fumure organique dont l'application fournit des éléments nutritifs aux plantes et améliore la structure du sol est de plus en plus promue [5-6]. Il a été rapporté que l'application de la fumure organique, comparée à la fumure inorganique, augmente significativement le rendement dans la production d'aubergines par exemple [5-6]. Parmi ces fumures organiques, il y a les fientes de poulets, très prisées en agriculture urbaine à Cotonou [7]. Ces fientes reviennent moins chères aux maraîchers. Dans le sol, elles contribuent à alimenter la plante en éléments nutritifs majeurs tels que l'azote, les phosphores et le potassium. L'azote favorise la végétation, accélère la croissance de la plante et donne une bonne coloration verte aux feuilles. Les ions phosphores favorisent le développement des racines et des bulbes. Ils exercent une action accélérante sur la maturité des fruits, légumes et céréales. La potasse rend la plante vigoureuse ; ce qui lui permet de mieux résister à la sécheresse et aux maladies. Les fientes sont aussi une source de microéléments dont le magnésium, le zinc, le cuivre, le soufre et le bore. Outre les éléments nutritifs, la décomposition des fientes de poulets produit l'humus, très utile pour la consistance du sol qui devient meuble et perméable à l'air et aux racines [8].

Malgré les avantages que présente l'utilisation des fientes de poulets en agriculture urbaine, des risques potentiels de contamination des légumes produits, liés à la présence de bactéries pathogènes et de métaux lourds [9-10] dans les fientes, restent une préoccupation. L'hygiénisation des fientes de poulets devient donc impérative, compte-tenu du contexte actuel: produits potentiellement contaminés dans les élevages et sécurisation de produits destinés à être commercialisés [11]. Cela est primordial afin de garantir la qualité sanitaire de *S. macrocarpon* produit à Cotonou.

Ainsi, les risques sanitaires seraient minimisés en cas de compostage correct des fientes avant amendement des légumes. Le compostage en aérobie dont la durée varie entre sept et huit semaines selon Znaïdi [12] n'est pas du tout respecté par les maraîchers, souvent pressés de produire et de vendre leurs cultures. Il urge alors de mettre en place une technique de compostage en temps réduit pour produire des légumes sains du point de vue microbiologique. Le présent travail aborde alors la mise en évidence de l'effet d'un type de compostage appelé digestion en anaérobiose des fientes de poulets sur la qualité microbiologique de *S. macrocarpon* cultivé à Cotonou.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

Le matériel utilisé dans le cadre de cette étude est composé entre autres des feuilles et des fruits de *S. macrocarpon*, des réactifs de laboratoire, des milieux de culture, d'un broyeur, un Spectrophotomètre d'Absorption Atomique de marque VARIAN SPECTRA 110, un Spectrophotomètre d'Absorption Moléculaire de marque HACH DR 2800 et d'un biodigester familial. Pour la fabrication du biodigester familial, un matériel simple et adapté selon ce qui est disponible localement a été employé suivant le procédé modifié de Lecesve [13]. Il s'agit essentiellement de petits tuyaux PVC, de chambre à air, de tige métallique, de papier de verre, de robinet, de boîtes de conserve, d'un grand fût et d'un petit fût pouvant s'encaster dans le premier. Initialement conçu par Lecesve [13] pour produire du gaz domestique, ce biodigester a été dépourvu du dispositif devant conduire le gaz vers le robinet.

2.2 MÉTHODES

L'étude s'est déroulée dans un champ expérimental à Abomey-Calavi et s'est appesantie sur le rôle des fientes de poulets dans la contamination, vu que d'après les résultats des travaux préliminaires, les eaux d'arrosage posent moins de problèmes. En effet, du moment où les eaux de forages sont utilisées sur les sites maraîchers, la pollution microbologique est moindre [10].

2.2.1 COLLECTE DES ECHANTILLONS ET TESTS PRELIMINAIRES

Neuf fermes ont été repérées dans la commune d'Abomey-Calavi (Figure 1). Dans chacune d'elles, 25 kilogrammes de fientes ont été collectés selon la méthode décrite par [10] puis convoyés vers le site de culture.

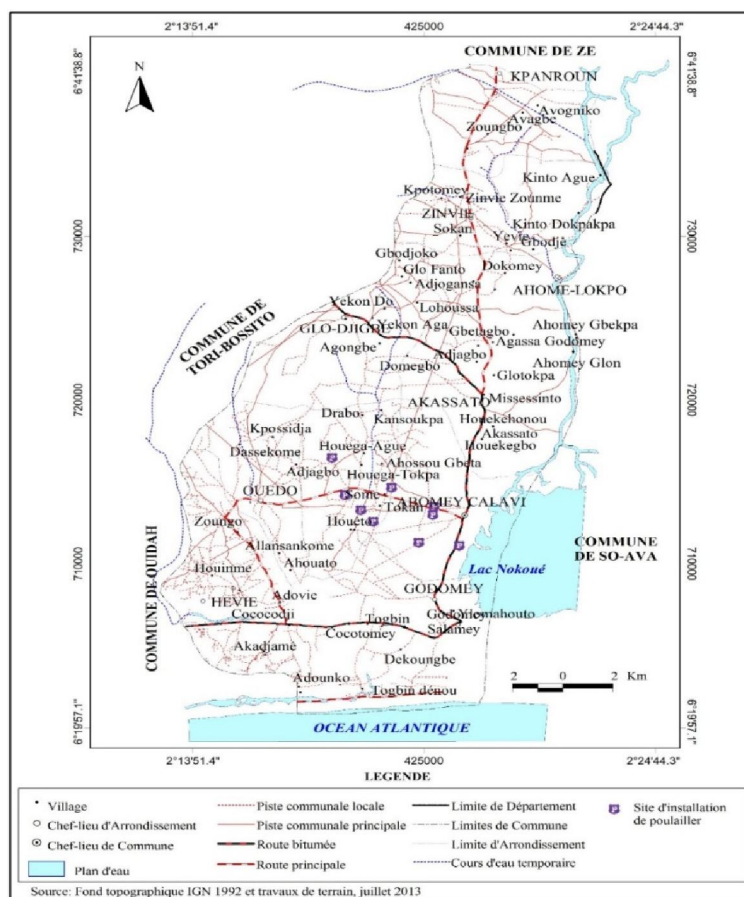


Fig. 1. Localisation des fermes avicoles parcourues

Après mélange du contenu de tous les sacs à raison de 3 kilogrammes par sac, cinq prélèvements aléatoires ont été réalisés dans le tas formé. Cinq prélèvements de sol ont été également effectués au centre et aux quatre extrémités du site de culture. Tous ces prélèvements ont été ramenés au laboratoire pour la recherche de germes aérobies mésophiles, de *Staphylococcus* à coagulase positive, d'*Enterococcus*, de coliformes thermotolérants et de *Salmonella*.

Les méthodes utilisées sont les méthodes de routine NF V08-051 février 1999 de la norme française relative à ces germes et adoptée dans l'espace UEMOA [14]. Les phosphores totaux, les phosphores assimilables et l'azote total ont été déterminés dans les échantillons de fientes pour apprécier la valeur amendante du compost fabriqué [15]. Les échantillons de sol ont connu les mêmes dosages afin d'établir la situation de départ du terrain de culture.

2.2.2 DIGESTION EN ANAEROBIOSE DES FIENTES DE POULETS

La fermentation de matières biologiques dans une enceinte en anaérobiose entraîne une suite de réactions chimiques qui produisent un gaz appelé biogaz. Après ce processus, l'effluent obtenu est un fertilisant naturel, reconnu comme source riche en azote et très assimilable [13]. Ainsi, un digesteur familial formé de deux fûts a été conçu suivant la technique de Lecesve modifiée. Le plus grand est appelé socle (Figure 2). Le dessus du fût a été au préalable découpé pour permettre au petit fût renversé d'y rentrer. A l'aide d'une chambre à air, la partie du tuyau à coller pour permettre la sortie des effluents a été enduite de colle. Le tuyau a été introduit dans le trou et maintenu pour qu'il soit bien fixé. L'espace entre le grand et le petit fût a été le plus restreint possible. Le petit fût est appelé cloche (Figure 3). Le fond a été découpé. Les deux extrémités du fût ont été perforées. En haut, un trou a été créé et recouvert d'une boîte vide. Un second trou a permis d'installer un robinet grâce auquel le débit du gaz produit a été régulé. En bas, le couvercle a été entièrement découpé, donnant directement accès au socle. L'étanchéité du dispositif a été totale. Des fûts en plastique ont été choisis afin de les travailler facilement à l'aide d'outils métalliques chauffés.



Fig. 2. Socle du digesteur familial fabriqué



Fig. 3. Cloche du digesteur familial fabriqué

Trente kilogrammes de fientes, en tenant compte de la réduction du volume du produit obtenu après digestion, ont été introduits dans le digesteur ainsi fabriqué avec 60 litres d'eau de robinet et deux boîtes de yaourt de 0,5 litres obtenues en pharmacie. Le rôle du yaourt est d'accélérer le processus de fermentation. Un volume de fientes de poulets pour deux volumes d'eau permet de maintenir l'anaérobiose [13].

Le mélange a été laissé dans le biodigesteur en anaérobiose pendant 3 semaines. Les sédiments de fientes ainsi obtenus ont été séchés au soleil pendant 7 jours. Tout le processus a duré quatre semaines, soit la moitié de la durée réglementaire du compostage des fientes [12]. Selon Lecesve [13], il faut au minimum trois semaines pour que la fermentation soit optimale or au-delà d'un mois, les maraîchers n'auront pas la patience d'attendre. C'est cette double contrainte qui a motivé le choix d'un compostage en anaérobiose de trois semaines en plus d'un séchage en aérobie d'une semaine. La qualité microbiologique et la valeur amendante de ces sédiments ont été évaluées dans les mêmes conditions que celles du compost prélevé avant la mise en place de l'expérimentation culturale.

2.2.3 MISE EN PLACE DES ZONES DE CULTURE SUR LE SITE EXPERIMENTAL

Sur le site de culture, 2 zones ont été délimitées et repérées de la manière suivante :

- une zone A où les sédiments issus de la digestion en anaérobiose et des eaux de robinet recueillies la veille ont été utilisés,
- une zone B où des fientes de poulets non compostées et des eaux de robinet recueillies la veille ont été utilisées.

Chaque zone a été subdivisée en sous-zones (Figure 4).

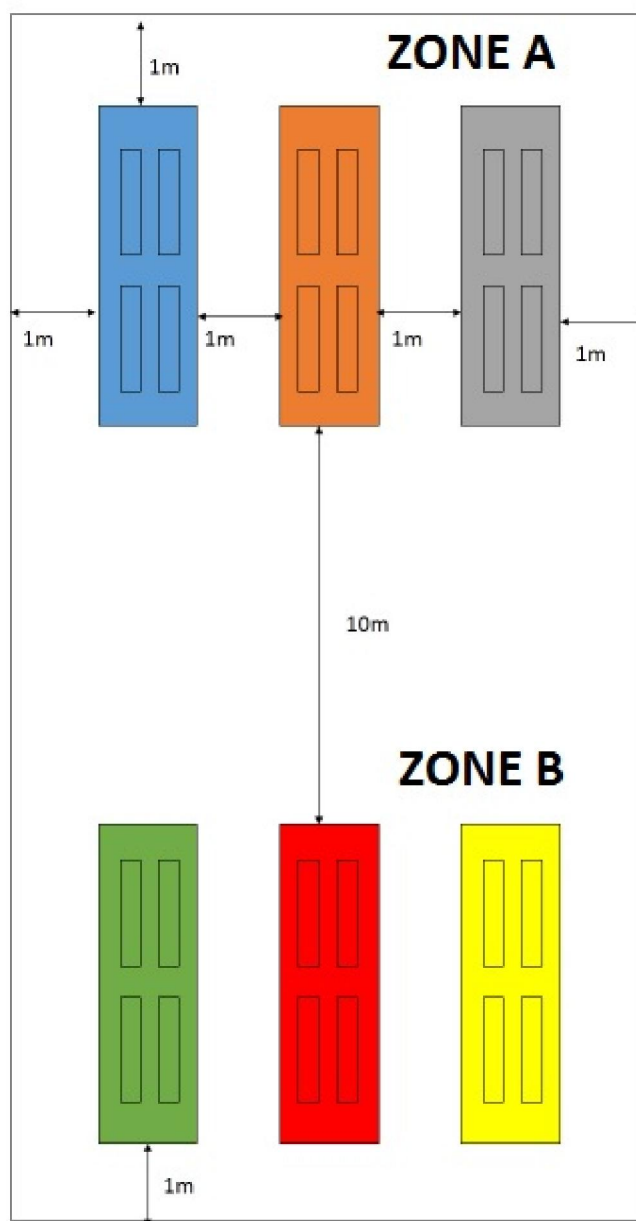


Fig. 4. Disposition des sites de culture pour le volet microbiologique

La culture de *S. macrocarpon* a été faite pendant 6 semaines selon la méthode de CERPADEC-ONG [16].

2.2.4 EVALUATION DE LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES FEUILLES DE *S. MACROCARPON*

La récolte a été faite en coupant les feuilles à quatre centimètres environ de la racine à l'aide d'une lame stérile. Cinq cents grammes de feuilles fraîches ont été récoltés sur 5 plants de légume par sous-zones et introduits dans des sachets en plastique stériles hermétiquement fermés. Les échantillons ont été ramenés au laboratoire pour recherche de germes aérobies mésophiles, de *Staphylococcus* à coagulase positive, d'*Enterococcus*, de coliformes thermotolérants, d'*Escherichia coli* et de *Salmonella* selon la méthode précédemment citée [14].

2.2.5 ANALYSES STATISTIQUES

Soit un ensemble de n mesures X_1, X_2, \dots, X_n . Il est possible d'avoir une idée globale sur la répartition des mesures par le calcul de deux paramètres spécifiques qui sont la moyenne et l'écart-type [17]. La moyenne est un paramètre statistique de tendance centrale. En effet, elle permet de connaître l'ordre de grandeur des mesures d'un type donné. Les moyennes obtenues dans le cadre de cette étude ont été calculées sur la base de la formule :

$$M = (X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) / n \text{ avec } n = \text{effectif considéré}$$

L'écart-type est un paramètre statistique de dispersion permettant de savoir si la moyenne peut représenter valablement chacune des mesures de la série statistique. Si l'écart type est faible, les valeurs de l'échantillon sont regroupées autour de la moyenne. S'il est important, elles sont en revanche très dispersées. Il est calculé à l'aide de la formule :

$$\sigma = 1/n \sqrt{\sum (X_i - X)^2} \text{ allant de } i = 1 \text{ [17]}$$

Des comparaisons ont été faites à l'aide du test de Student $p(T > t) = 0,05$. Après le volet exploratoire, des comparaisons multiples ont été faites entre les résultats issus des deux zones de culture. Les logiciels Microsoft Excel 2010 et XL Stat 2011 ont été utilisés. Par ailleurs, le pourcentage de réduction des différents paramètres a été calculé par la formule :

$$\% \text{ de réduction} = (\text{Valeur d'arrivée} - \text{Valeur de départ} / \text{Valeur de départ}) \times 100 \text{ [18]}$$

3 RESULTATS

3.1 TENEUR EN BACTERIES DES SOLS DE CULTURE ET DES FIENTES AVANT COMPOSTAGE

Les fientes de poulets renferment plus de germes aérobies mésophiles ($3.10^{11} \pm 2020$ UFC/g) que les sols de culture [(2.10^9 UFC/g) ($p < 0,05$)] comme le présente la figure 5.

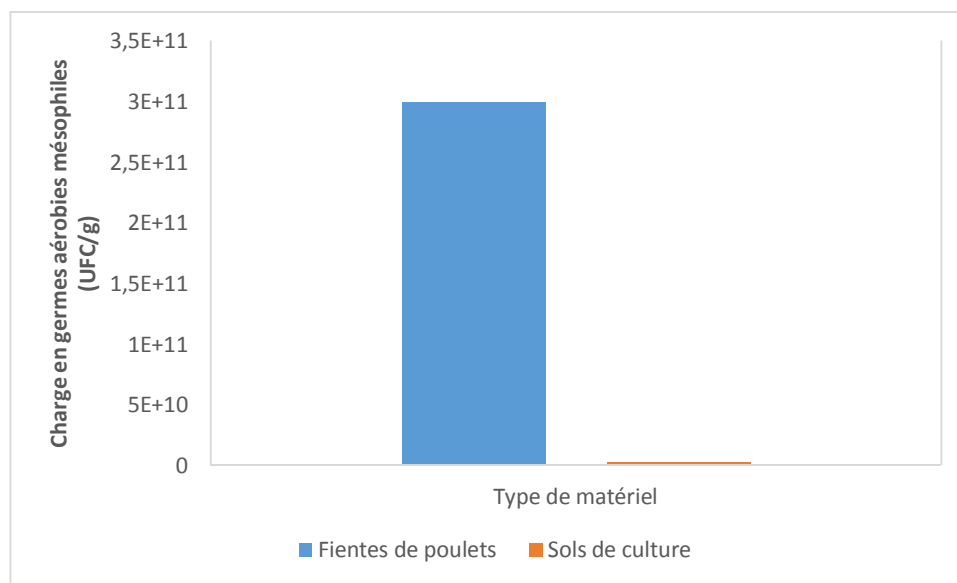


Fig. 5. Charge des fientes de poulets et des sols en germes aérobies mésophiles

$5E+10 = 5.10^{10}$ et ainsi de suite

Les fientes de poulets ont une charge plus élevée en *Enterococcus*, *Staphylococcus* coagulase positive et en coliformes thermotolérants et en *E. coli* que celle des sols de culture [(p<0,05) (Tableau I)]. *Salmonella* a été retrouvé dans les échantillons de sols tandis que les fientes en sont exemptes.

Tableau I : Teneur des fientes de poulets et des sols en bactéries

	Bactéries recherchées (UFC/g)			
	<i>Enterococcus</i>	Coliformes thermotolérants	<i>Staphylococcus</i> coagulase +	<i>Salmonella</i>
Fientes de poulets	3,54.10 ⁶ ± 2020a	6,518.10 ⁶ ± 1421,38a	10200 ± 1,42a	Absence dans 25 g
Sols de culture	10.000 ± 430b	980 ± 20,12b	100 ± 6,20b	Présence dans 25 g

Les moyennes portant les mêmes lettres verticalement ne sont pas significativement différentes au seuil de significativité $\alpha = 0,05$.

3.2 IMPACT DE LA DIGESTION EN ANAEROBIOSE SUR LA CHARGE BACTERIENNE DES FIENTES DE POULETS

Le compostage réalisé a significativement abaissé les charges des fientes de poulets en germes aérobies mésophiles (99 % de réduction), en coliformes thermotolérants (99,5 % de réduction) et en *Enterococcus* (99,8 % de réduction). Par contre, la diminution des *Staphylococcus* à coagulase positive n'est pas significative même si le pourcentage de réduction est de 0,3 % (Tableau II).

Tableau II : Evolution de la population bactérienne après compostage

	Bactéries recherchées (UFC/g)			
	Germes aérobies mésophiles	Coliformes thermotolérants	<i>Enterococcus</i>	<i>Staphylococcus</i> coagulase +
Charge en bactéries des fientes brutes	3.10 ¹¹ ± 30150a	6,5.10 ⁶ ± 1421,38a	3,54.10 ⁶ ± 3044,73a	10.200 ± 142a
Charge des fientes compostées en bactéries	3.10 ⁹ ± 23520b	34.000 ± 2020b	5.433,33 ± 1500b	10.166,66 ± 230a

Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de significativité $\alpha = 0,05$.

3.3 CULTURE DE *S. MACROCARPON* AVEC LES FIENTES COMPOSTEES ET QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES FEUILLES

Les feuilles de la zone amendée avec les fientes compostées ont une charge bactérienne inférieure à celles de la zone amendée avec les fientes non compostées (Tableau III).

Tableau III : Charge des légumes en bactéries selon les fientes utilisées pour l'amendement

Bactéries (UFC/g)	Feuilles	
	Fientes non compostées	Fientes compostées
Germes aérobies mésophiles	4,2.10 ⁷ ±5348,25a	5,13.10 ⁵ ±4853,2b
Coliformes thermotolérants	5,9.10 ⁵ ±10320a	855±26,05b
<i>E. coli</i>	18250±2543,25a	9±0,34b
<i>Salmonella</i>	Absence dans 25 g	Absence dans 25 g
<i>Enterococcus</i>	1000±45a	400±32,4b
<i>Staphylococcus</i> à coagulase +	Présence dans 25 g	Absence dans 25 g

Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de significativité $\alpha = 0,05$ et UFC/g = Unité Formant une Colonie par gramme

Les pourcentages de réduction des charges bactériennes des feuilles de *S. macrocarpon* cultivé avec les fientes compostées sont respectivement de 98,8 %, 99,9%, 100 % et 60 % pour les germes aérobies mésophiles, les coliformes thermotolérants, *E. coli* et *Enterococcus*. *Salmonella* et *Staphylococcus* à coagulase positive n’ont pas été mis en évidence dans les feuilles de *S. macrocarpon* cultivé avec les fientes compostées (Tableau IV).

Tableau IV : Charge des légumes en bactéries selon les fientes utilisées pour l’amendement

Bactéries (UFC/g)	Feuilles	
	Fientes non compostées	Fientes compostées
Germes aérobies mésophiles	4,2.10 ⁷ ±5348,25a	5,13.10 ⁵ ±4853,2b
Coliformes thermotolérants	5,9.10 ⁵ ±10320a	855 ±26,05b
<i>E. coli</i>	18250 ±2543,25a	9 ±0,34b
<i>Salmonella</i>	Absence dans 25 g	Absence dans 25 g
<i>Enterococcus</i>	1000 ±45a	400 ±32,4b
<i>Staphylococcus</i> à coagulase +	Présence	Absence

Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de significativité $\alpha = 0,05$ et UFC/g = Unité Formant une Colonie par gramme

3.4 IMPACT DE L’UTILISATION DES FIENTES COMPOSTEES SUR LA QUALITE CHIMIQUE DES FEUILLES DE *S. MACROCARPON* CULTIVE

3.4.1 VALEUR AMENDANTE DES SOLS DE CULTURE ET DES FIENTES AVANT COMPOSTAGE

La figure 6 montre que les fientes de poulets ont une teneur plus élevée en phosphores totaux (20200 ±1365,65 mg/kg), en phosphores assimilables (2013,20 ±249,02 mg/kg) et en azote total (18900 ±1307,67 mg/kg) que les sols (1016,20 ±143,50 mg/kg pour les phosphores totaux, 121,86 ±17,43 mg/kg pour les phosphores assimilables et 1095 ±139,50 mg/kg pour l’azote total).

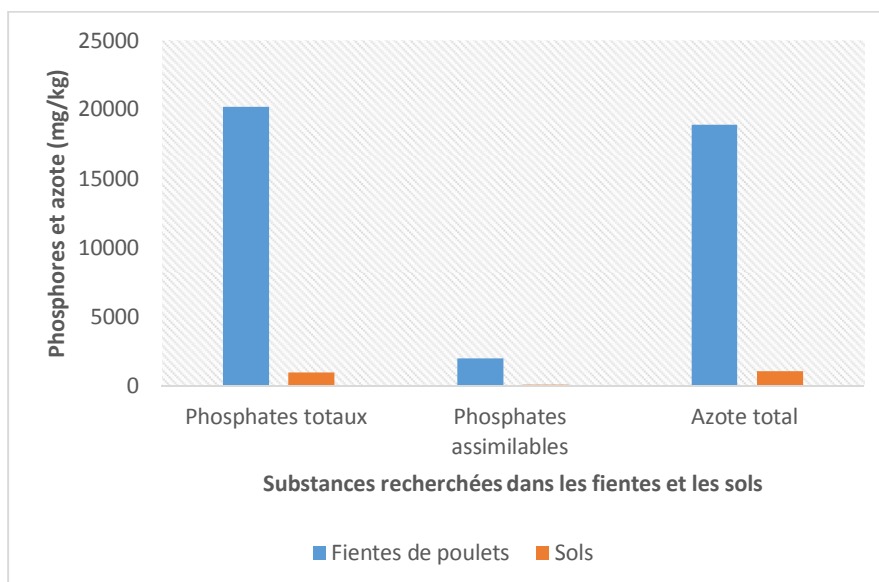


Fig. 6. Valeur amendante des fientes de poulets et des sols de culture

3.4.2 EFFET DE LA DIGESTION EN ANAEROBIOSE SUR LA VALEUR AMENDANTE DES FIENTES DE POULETS

La digestion en anaérobiose des fientes de poulets n’a nullement entamé la valeur amendante du compost obtenu. En effet, ce dernier a conservé une teneur élevée en phosphores totaux (17652,33 ±1171 mg/kg) et en phosphores assimilables

[(2896,46±143,56 mg/kg) (Figures 7 et 8)]. Mieux, le pourcentage des phosphores assimilables est passé de 9,96 % à 16,40 % et la teneur en azote total a connu une réduction significative [($p < 0,05$) (Figures 7 et 8)].

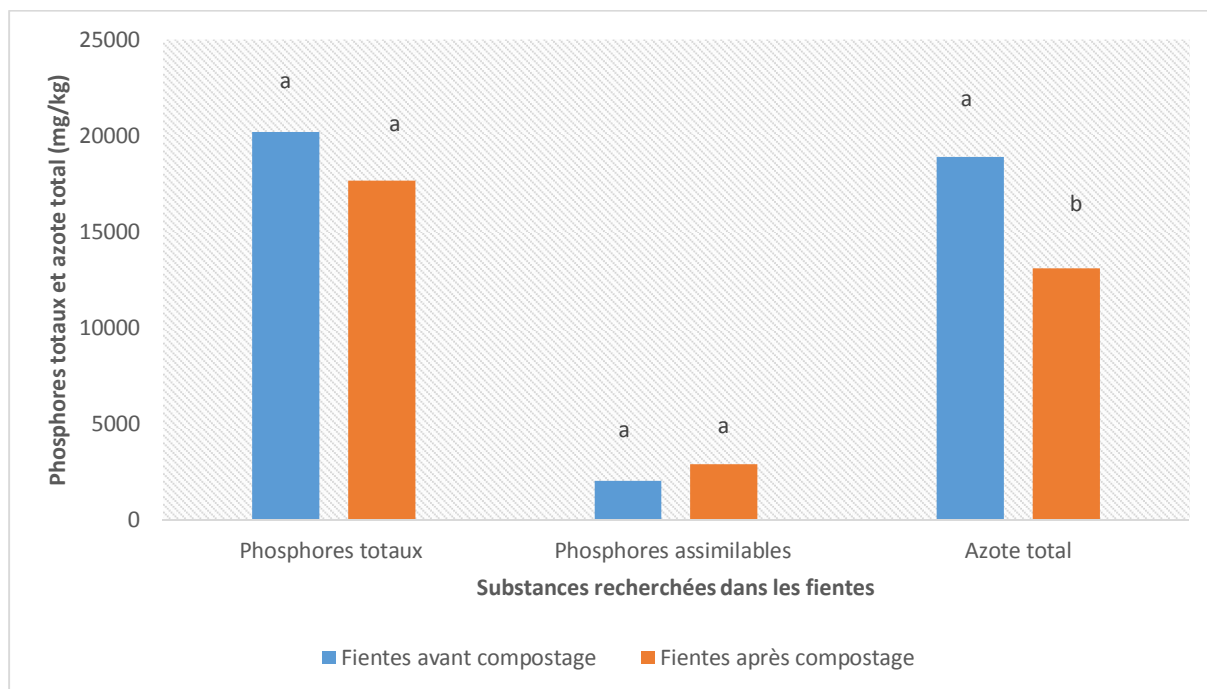


Fig. 7. Teneur des fientes en éléments fertilisants avant et après compostage

Les moyennes portant les mêmes lettres ne sont pas statistiquement différentes au seuil de significativité de 5% ($p > 0,05$).

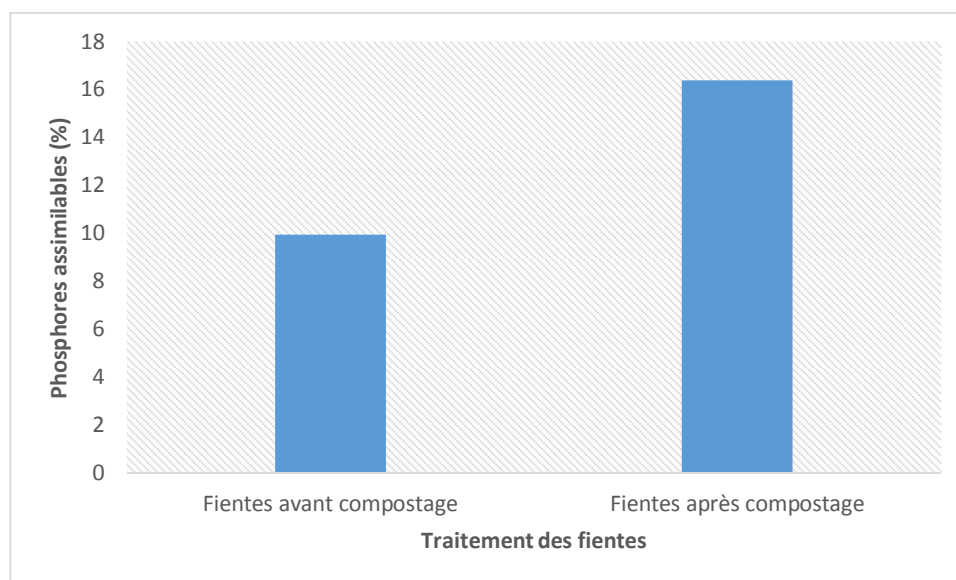


Fig. 8. Teneur des fientes en phosphores assimilables avant et après compostage

4 DISCUSSION

4.1 ROLE DE LA DIGESTION EN ANAEROBIOSE DES FIENTES DE POULETS DANS LA QUALITE MICROBIOLOGIQUE DES FEUILLES DE *S. MACROCARPON* CULTIVE

La charge bactérienne importante des fientes de poulets comparativement aux sols est due au fait qu'il s'agit ici des rejets d'animaux. Les microorganismes hébergés par les poulets sont donc présents dans leurs déjections [19]. La présence d'*E. coli* dans les fientes est une évidence [19]. Par contre, sa présence dans les légumes est un problème. Les salmonelles isolées des sols de culture tiennent leur origine de l'utilisation faite du terrain dans le passé. En effet, il s'agit d'un terrain vague qui, bien que clôturé, était un dépotoir de déchets de tous ordres. Il a fallu un travail de sensibilisation des populations environnantes pour amoindrir cette pollution. Le transfert de *Salmonella* dans les légumes est à surveiller, bien que la zone contaminée ait été évitée lors de la culture. L'absence de *Salmonella* dans les fientes est due au type de traitement dont font l'objet les poulets des fermes parcourues. Suivis par des vétérinaires, ces poulets sont régulièrement vaccinés et traités périodiquement [20]. Il ne faut pas perdre de vue l'hypothèse que *Salmonella* pourrait ne pas résister hors de l'organisme. C'est à la même conclusion qu'ont abouti El Jalil *et al.* au terme d'une étude sur la biotransformation des déchets de volailles en vue de leur valorisation dans l'industrie de l'alimentation animale [21].

La digestion en anaérobiose des fientes réalisée dans le cadre de la présente étude a eu un impact destructif sur la charge bactérienne. Ces résultats corroborent ceux de Couturier [22] qui souligne que la digestion en anaérobiose vise à réduire l'exposition par élimination ou par inactivation des organismes pathogènes. Les principaux paramètres d'élimination des agents pathogènes sont le temps et la température. Globalement, la digestion mésophile classique permet d'éliminer 99 % des germes pathogènes comme ce fut le cas dans la présente étude. Pour Couturier [22], une digestion en anaérobiose pendant 24 heures suffit à réduire la charge bactérienne contrairement aux trois semaines réalisées. Le taux de réduction dépend de nombreux autres paramètres intervenant dans la pratique. Il s'agit de la concentration initiale en agents pathogènes, du mode d'alimentation du digesteur et de la compétition avec les autres microorganismes [22]. La digestion en anaérobiose présente donc plusieurs atouts fondamentaux liés à la puissance des mécanismes biologiques mis en jeu pour assurer un taux de dégradation élevé de la matière organique, aux conditions chimiques particulières de l'anaérobiose [23].

Staphylococcus à coagulase positive n'a pas totalement disparu des fientes traitées pour la raison que ces bactéries supportent mal la concurrence avec les streptocoques et les entérobactéries [24]. La quasi-disparition de ces deux derniers groupes de bactéries dans le milieu expliquerait alors la présence de *Staphylococcus*. C'est ce constat qui a soutenu la recherche de cette bactérie dans les légumes produits avec les fientes compostées.

L'absence de *Salmonella* dans les feuilles de *S. macrocarpon* en provenance des deux zones d'amendement signifie qu'il n'y a pas eu un transfert de cette bactérie du sol aux légumes. Il est vrai que les régions où la contamination par les *Salmonella* avait été détectée, ont été évitées lors des semis mais le risque de pollution liée au transport par le vent était à craindre. Ces résultats sont en accord avec ceux de Florin *et al.* [25] qui ont prouvé que *Salmonella* a tendance à vite disparaître du milieu extérieur. La forte diminution de la charge bactérienne remarquée au niveau des feuilles de la zone amendée par les fientes de poulets compostées montre à quel point le processus d'hygiénisation de ces matières premières en agriculture urbaine [2] est à prendre au sérieux. La canalisation des eaux d'arrosage en remplacement des eaux de marécage alliée à cette hygiénisation permet de produire des légumes peu contaminés par les bactéries.

4.2 ROLE DE LA DIGESTION EN ANAEROBIOSE DES FIENTES DE POULETS SUR LEUR VALEUR AMENDANTE

Les matières organiques ont une présence plus élevée dans les fientes que dans les sols, ce qui explique pourquoi l'amendement par les fientes est une nécessité depuis quelques décennies sur les sites maraîchers. La teneur en azote total, très élevée avant compostage a significativement diminué et a atteint une valeur comprise entre 10 et 16 mg/kg, proche de celle recommandée par les normes [23]. En effet, une teneur trop élevée en azote provoque une surchauffe du compost, ce qui aboutit à la mort des jeunes pousses. Cette diminution de l'azote est due au processus de méthanisation lié à la digestion en anaérobiose [22]. Cette action réductrice permet donc d'obtenir des fientes compostées qui sont prêtes pour l'amendement direct des légumes. Bien qu'il n'y ait eu aucune différence significative relative à la teneur en phosphores totaux des fientes avant et après compostage, le pourcentage de phosphores assimilables a néanmoins connu une forte augmentation. Ce détail est assez important car c'est la forme disponible du phosphore pour la plante qui détermine la valeur d'un compost [23]. Le volet agronomique n'ayant pas fait l'objet de ce travail, il serait intéressant que des travaux en agronomie se fassent sur ce modèle de compostage afin que ses bienfaits cultureux soient établis en dehors de l'intérêt sanitaire prouvé par la présente étude.

5 CONCLUSION

Les légumes sont très utiles pour le bien-être des populations. Avec l'essor de l'agriculture urbaine, de nombreuses cultures maraîchères sont disponibles à Cotonou. Parmi celles-ci, *S. macrocarpon* occupe une place importante. La présente étude a permis de se rendre compte que les fientes de poulets de plus en plus utilisées en substitution des engrais chimiques contribuent à la contamination des légumes cultivés. Pour trouver une alternative au défaut de compostage des fientes, l'évaluation d'une technique a été proposée. Les résultats ont montré que le compostage des fientes pendant quatre semaines conduit à une chute de la charge bactérienne dans le compost. C'est un processus de digestion en anaérobiose qui conserve les propriétés amendantes du compost en rendant disponibles les phosphores au profit des légumes. L'hygiénisation du compost a conduit à la production de légumes peu contaminés au regard des normes internationales régissant les contaminations microbiologiques des denrées alimentaires. A l'issue de ces travaux, nous recommandons de :

- Restituer les résultats aux maraîchers et de les accompagner financièrement afin que chaque site maraîcher soit doté du modèle de digesteur évalué.
- Mettre sur pied un 'Programme Cultures Maraîchères' en vue de gérer cette thématique. Le rôle de l'Approche Écosystémique de la Santé dans le processus revêt une importance capitale. Les consommateurs ne doivent pas être exclus de cette démarche. Loin de les effrayer, cette étude a été menée en vue de permettre la production de légumes exempts de polluants divers. Les règles minimales d'hygiène (lavage des mains, désinfection des produits maraîchers à consommer crus, cuisson correcte des aliments) ne doivent pas pour autant être occultées.

REMERCIEMENTS

Les auteurs sont reconnaissants à Mme Françoise ASSOGBA-KOMLAN (PhD), à Monsieur Elias POGNON (Ingénieur des Travaux). Sincères remerciements aux Professeurs Messanvi GBEASSOR, Frédéric LOKO pour leurs divers apports scientifiques.

REFERENCES

- [1] N.K. Sinha, "Handbook of vegetables and vegetables processing", Blackwell Publishing Ltd, England, 788p, 2011.
- [2] F. Assogba-Komlan, P. Anihouvi, E. Achigan, R. Sikirou, A. Boko, C. Adje, V. Ahle, R. Vodouhè and A. Assa, "Pratiques culturales et teneur en éléments antinutritionnels (nitrates et pesticides) du *Solanum macrocarpum* au Sud du Bénin", African Journal of Food Agriculture Nutrition and Development, vol. 7, no. 4, pp. 1-21, 2007.
- [3] O.A. Sodipo, F.I. Abdulrahman, T.E. Alemika and I.A. Gulani, "Chemical composition and biological properties of the petroleum ether extract of *Solanum macrocarpum* L. (Local Name: Gorongo)", British Journal of Pharmaceutical Research, vol. 2, no.2, pp 108-128, 2012.
- [4] G.J.H. Grubben and O.A. Denton, "Plant Resources of Tropical Africa Vegetables, Ponennad Looijenhv, Wageningen, Netherlands", 667p, 2004.
- [5] M.S. Ullah, M.S. Islam, M.A. Islam and T. Hague, "Effects of organic manures and chemical fertilizers on the yield of brinjal and soil properties", Journal of the Bangladesh Agricultural University, vol.6, no.2, pp. 271-276, 2008.
- [6] C.U. Agbo, P.U. Chukwudi and A.N. Ogbu, "Effects of rates and frequency of application of organic manure on growth, yield and biochemical composition of *Solanum melongena* L. (cv. 'Ngwa local') fruits", Journal of Animal & Plant Sciences, vol. 14, no.2, pp. 1952-1960, 2012.
- [7] S.C.C. Atidéglá, "Effets des différentes doses d'engrais minéraux et de la fiente de volaille sur l'accumulation de biocontaminants et polluants (germes fécaux, composés azotés et phosphorés, métaux lourds) dans les eaux, les sols et les légumes de Grand-Popo au Bénin" Thèse de doctorat unique, Ecole Doctorale Pluridisciplinaire, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 316p, 2011.
- [8] L.G. Onana Onana, "Pratiques de fertilisation et caractéristiques des sols en zone maraîchère périurbaine de Yaoundé : cas des bas-fonds de Nkolondom", Mémoire de fin d'étude, Université de Dschang, Cameroun, 73p, 2006.
- [9] R. Métras, "Utilisations et dangers sanitaires microbiologiques liés aux effluents d'élevage", Thèse de doctorat unique de médecine vétérinaire, Université Claude Bernard, France, 150p, 2003.
- [10] T.V. Dognon, "Apports de *Solanum macrocarpon* Linn (Solanaceae) en santé humaine et intérêt de l'hygiénisation des fientes de poulets utilisées pour sa culture au Bénin", Thèse de Doctorat Unique, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 284p, 2013.

- [11] R. Derel and C. Aubert, "Evolution de la qualité microbiologique de fientes de poules pondeuses après séchage et au cours du stockage", TeMA, vol. 7, pp. 4-11, 2008.
- [12] A. Znaïdi, "Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes", Master of Sciences, Bari Mediterranean Organic Agriculture, CIHEAM Mediterranean Agronomic Institute, Italie, 94p, 2002.
- [13] L. Lecesve, "Fabrication d'un biodigester familial", Rapport d'atelier, Hybrid Energies, 5p, 2008, disponible sur www.hybridenergies.org, consulté le 15 février 2012 à 20 heures 15 minutes.
- [14] A. Tété-Bénissan, K.A. Lawson-Evi, K. Kokou and M. Gbéassor, "Effet de la poudre de feuilles de *Moringa oleifera* Lam. sur l'évolution du profil de l'hémogramme des enfants malnutris au Togo: évaluation chez les sujets HIV positifs", African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development, vol. 12, no. 2, pp. 6007-6026, 2012.
- [15] Hach, "Digesdahl digestion apparatus: Instruction manual for models 23130-20-21" Hach, United States of America, 95p, 1999.
- [16] CERPADEC-ONG, "Manuel de l'apprenant en techniques de conduite et de production de cultures maraîchères", Ed. Tundé, République du Bénin, 20p, 2008.
- [17] L. Gabada, "Pollution des eaux de boisson en milieux urbains par les métaux toxiques (Cu, Ni, Fe, Pb, Cd) : Cas de Kpalimè au Togo", Mémoire de Master, Centre Interfacultaire de Formation et de Recherche en Environnement pour le Développement Durable, Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin, 74p, 2010.
- [18] JR. Klotoé, "Etude ethnobotanique et propriétés hémostatiques de quelques plantes médicinales du Sud-Bénin", Thèse de doctorat Unique, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, République du Bénin, 217p, 2013.
- [19] A. Bouedo, M. Bertru, F. Guiziou and M. Bertrand, "Etude du risque de contamination fécale des eaux après épandage de lisier", hors-série octobre 1993, informations techniques, Editions CEMAGREF, France, 55p, 1993.
- [20] J.T. Dougnon, A.P. Etorh, H.S. Bankole, M. Sezonlin, P. Guedenon, M. Kpodekon and M. Gbeassor, "Bacteriological study of the fishmeal used in feed for imported chicken in Atlantic department", International Journal of Animal and Veterinary Advances, vol. 4, no. 1, pp. 53-57, 2012.
- [21] M.-H. El Jalil, M. Faid and M. Elyachioui, "Biotransformation des déchets de volailles et essai de valorisation dans l'industrie de l'alimentation animale", Cahiers Agricultures, vol. 12, no. 3, pp. 175-180, 2003.
- [22] C. Couturier, "Effets de la digestion anaérobie sur les micropolluants et germes pathogènes", Solagro, pp. 1-5, 2002.
- [23] ADEME. Dossier documentaire « Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture », réf. 3832, ISBN 2-86817-561-9, 2001, disponible sur www.ademe.fr, consulté le 15 mars 2012 à 14 heures 30 minutes.
- [24] P.B.G. Arnal, "Sources et caractère entérotoxinogène des staphylocoques en élevage ovin laitier", Thèse de doctorat en médecine vétérinaire, Université Paul-Sabatier de Toulouse, France, 57p, 2003.
- [25] N.H. Florin, A.R. Maddocks, S. Wood and A.T. Harris, "High-temperature thermal destruction of poultry derived wastes for energy recovery in Australia", Waste Management, vol. 29, no. 4, pp. 1399-1408, 2009.