

Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie

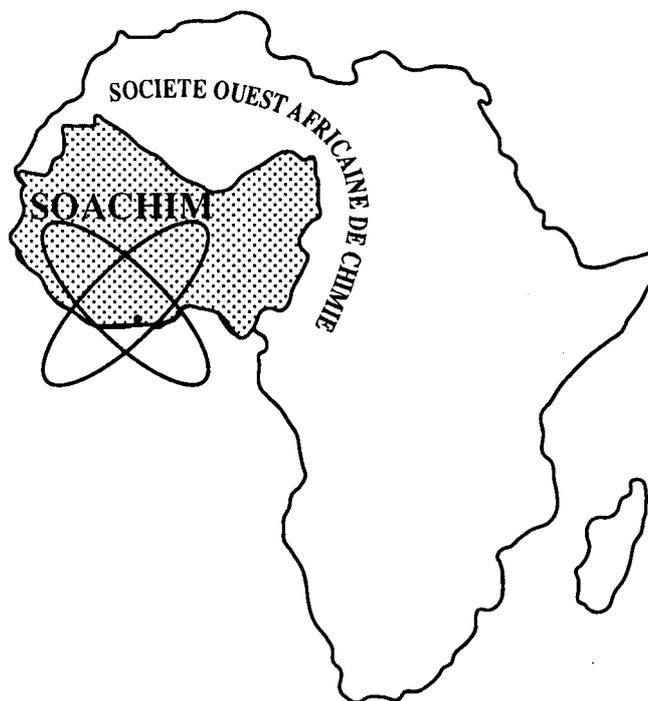
J. Soc. Ouest-Afr. Chim.

Code Chemical Abstracts : JSOCF2

Cote INIST (CNRS France) : <27680>

ISSN 0796-6687

16^{ème} Année, Décembre 2011, N° 032



Site Web: <http://www.soachim.org>

Etude de la biodégradation de la deltaméthrine dans le sol en simulant au laboratoire les conditions des zones aride, semi-aride et soudano-sahélienne de paludisme endémique

Rabani ADAMOU^{1*}, Paul W. SAVADOGO², Alassane ABDOULAYE¹, Alice NARE², Maimouna SOUMAILA¹, Michel P. SEDOGO²

¹Département de Chimie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Abdou Moumouni. BP 10662, Niamey-Niger.

²Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST), 01 BP 476, Ouagadougou 01, Burkina Faso

(Reçu le 21 /04/ 2011– Accepté après corrections le 30/11/2011)

Résumé : Les insecticides pyréthroïdes tels la deltaméthrine sont hautement toxiques pour les insectes non-cibles et les animaux aquatiques. Leur utilisation massive dans la lutte contre le paludisme en Afrique Subsaharienne est donc préoccupante. L'étude du devenir biotique de la deltaméthrine a montré que sa dégradation est plus importante en zones soudano-sahélienne et semi-aride dotées d'une pluviométrie annuelle de 300 à 800 mm qu'en zone totalement aride. Les taux de biodégradation dans les sols sablonneux et argileux, enrichis de 40 mg de matière active (ma) /kg de sol, varient respectivement de 59 à 84% et 53 à 78% selon la pluviométrie. L'activité de la flore microbienne est relativement plus inhibée dans le milieu argileux où les molécules insecticides s'adsorbent solidement à la matière organique et aux sédiments. La biodégradation de la deltaméthrine dépend aussi de la teneur en matière active insecticide du sol. Après 3 mois, les taux de dégradation en milieu arid sont de 59, 73 et 81% pour un sol sablonneux respectivement amendé de 40, 20 et 10 mg ma/kg de sol. L'augmentation de la teneur de l'insecticide dans le sol inhibe l'activité de la microflore. Toutefois, cette inhibition est levée par une incubation préliminaire d'une semaine avant l'application de l'insecticide. Ici, les taux de dégradation atteignent 98 et 92% respectivement en sols sablonneux et argileux amendés de 40 mg ma /kg de sol. Ainsi, le traitement insecticide des zones de paludisme pendant la saison des pluies présenterait moins de risques environnementaux.

Mots clés: deltaméthrine, persistance, biodégradation, sols, zones de paludisme.

Deltamethrin biodegradation study in soil by simulating in laboratory, arid, semi-arid and sudano-sahelian endemic malaria zone conditions

Abstract : According to pyrethroids high toxicity for aquatic animals and non-target insects, their extensive use in sub-Saharan Africa to control malaria is of concern. Deltamethrin biodegradation investigation have shown that this pyrethroid is more degraded in soudano-sahelian and semi-arid zones with annual rainfall extending from 800 - 300 mm compared to arid zone (0 mm). In local sandy and clay soils amended with 40 mg insecticide kg⁻¹ dry weight soil, the observed biodegradation rates after three months varied respectively from 59 to 84% and 53 to 78% according to rainfall. The microbial activity is relatively inhibited in clay soil where the insecticide is firmly adsorbed to organic matters and sediments. The observed microbial activity depends also to the soil insecticide rate. Indeed, in arid zone sandy soil, deltamethrin was degraded after three months at 59, 73 and 81% for respectively 40, 20 and 10 mg/kg amended soil. At high concentration, deltamethrin inhibits the microbial activity but a preliminary one week soil incubation before insecticide application increased the biodegradation rate. It reached 98 and 92% respectively in amended 40 mg/kg sandy and clay soils. Hence, deltamethrin treatment during the rainy season will present less environmental risks.

Keywords: deltamethrin, persistence, biodegradation, soil, malarial zones.

* **Auteur de correspondance :** Rabani ADAMOU, Tel. : (+227) 20315072 ; mail: arabani@refer.ne

1. Introduction

Les pyréthriinoïdes de synthèse sont largement utilisés en santé communautaire à travers le monde dans la lutte contre les maladies vectorielles ^[1-3]. Ainsi, pour faire reculer le paludisme en Afrique subsaharienne, l'organisation mondiale de la santé (OMS) a recommandé ces dernières années, l'utilisation de plusieurs insecticides pyréthriinoïdes ^[4-7]. Les matières actives les plus utilisées sont la deltaméthrine, la perméthrine, l'étofenprox, etc. Ces substances sont prioritairement utilisées pour : (i) contrôler le développement du stade larvaire des moustiques; (ii) réduire la population de moustiques dans les habitations et (iii) imprégner les moustiquaires afin de protéger les enfants de moins de cinq(5) ans et les femmes enceintes ^[6, 8-11].

Les pyréthriinoïdes sont choisis à cause de leur grande efficacité insecticide ^[12] mais aussi pour leur durée de vie relativement courte dans les matrices environnementales ^[4-7]. Toutefois, les paramètres physico-chimiques du milieu et les conditions climatiques de la zone peuvent fortement influencés les processus de dégradation de ces molécules ^[13-16]. La potentielle persistance des insecticides pyréthriinoïdes est déjà relatée dans d'autres études ^[13-15]. Les demi-vies mesurées vont de 8 à 17 mois et 65 à 70 mois respectivement à 20 et 4°C, quant ils sont adsorbés sur les sédiments ^[13]. Le pH et la teneur en matières organiques influencent également la persistance ; la demi-vie atteint 80 mois dans une eau naturelle riche en matière organique ^[16,17]. De même, l'absence ou la présence de nutriments dans le milieu (nitrates), affecte aussi la durée de vie des pyréthriinoïdes ^[18-20]. En ce qui concerne la deltaméthrine, sa persistance dépend fortement des caractéristiques du sol. Dans un sol minéralisé amendé (1 mg matière active /kg de sol), 52% de la deltaméthrine utilisée est récupérée intacte après une incubation de 8 semaines. Dans la même

période, dans un sol riche en matières organiques, 74% de la quantité utilisée a été récupérée ^[10,18-21].

Les pyréthriinoïdes sont des insecticides de contact, ils sont 100 à 1000 fois plus toxiques que les pesticides organochlorés ^[22]. En cas d'accumulation dans l'environnement, leur toxicité élevée et leur effet foudroyant seront très préjudiciables pour l'écosystème ^[2,21-29]. Il est donc urgent de comprendre le comportement de ces substances toxiques dans l'environnement Subsaharien. La dégradation abiotique de quelques insecticides pyréthriinoïdes a été déjà étudiée dans notre laboratoire ^[16,17]. A travers cette présente étude, la biodégradation de la deltaméthrine dans les conditions propres au milieu sahélien sera investiguée en simulant au laboratoire les conditions climatiques des zones aride, semi-aride et soudano-sahélienne, régions endémiques de paludisme. En effet, les bénéfices engrangés en matière de réduction de la morbidité et de la mortalité palustres ne doivent pas cacher les risques environnementaux et sanitaires potentiels relatifs à l'utilisation extensive de ces substances. La compréhension de leur devenir dans les zones de paludisme, aiderait à les utiliser plus efficacement et à prévenir les impacts écologiques de leur application.

2. Procédure expérimentale

2.1. Réactifs chimiques

L'insecticide utilisé est la deltaméthrine (99%, m/m), elle provient de Cluzeau Info Labo (CIL, France), elle a été utilisée comme telle. Cet insecticide pyréthriinoïde est beaucoup utilisé en Afrique Subsaharienne dans l'imprégnation des moustiquaires et dans le traitement des gîtes des moustiques. Cette étude s'est intéressée à sa biodégradation dans le sol des régions de paludisme où elle est encore très utilisée.

2.2. Sites de l'étude

Les sols utilisés pour la simulation du devenir de la deltaméthrine ont été prélevés au Niger en novembre 2008 sur l'horizon 0-20 cm dans les sites de Niamey (N 13° 30' 12"; E 02° 05' 55.2") et Tillabery (N 14° 48' 23.5"; E 01° 52' 51.8"). Le sol nommé "NY" provient du site de Niamey et le "TY" est du site de Tillabery. Ces deux sites ont été choisis afin d'obtenir des sols sablonneux et argileux, propres aux zones aride, semi-aride et soudano-sahélienne.

2.3. Les caractéristiques physico-chimiques des sols

La détermination des paramètres physicochimiques [30] des deux sols a lieu au Laboratoire des sols de l'International Crops Research for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT-Niger). La granulométrie du sol a été déterminée par la méthode internationale de prélèvement à la pipette de Robinson basée sur le principe de sédimentation. Une prise d'essai de 25 g est au préalable traitée à l'eau oxygénée au bain-marie pour la digestion de la matière organique et à l'hexamétaphosphate de sodium pour la dispersion des agrégats par

agitation mécanique pendant 3 heures. Après les prélèvements de particules fines (argiles et limons), les sables sont obtenus par tamisage à sec à l'aide d'une tamiseuse mécanique. Les pH (eau-KCl) du sol sont mesurés dans une suspension de sol/eau (1/2,5), par la méthode électrométrique au pH-mètre à l'électrode de verre. Le dosage du carbone total et du taux de matière organique a été effectué par la méthode de Walkley-Black. L'azote et le phosphore total ont été minéralisés par la méthode de Kjeldahl et extrait après digestion à l'acide sulfurique. Le dosage de l'azote et du phosphore a ensuite été effectué par colorimétrie. Les bases échangeables sont déplacées du complexe absorbant par une solution de thio-urée d'argent (Ag H₂N-CS-NH₂) et dosées par spectrophotométrie d'absorption atomique. Les caractéristiques physico-chimiques des deux sols sont regroupées dans le **Tableau I**. Par la suite, plusieurs échantillons de travail ont été préparés; 100 g de chaque sol sont amendés à 0, 10, 20 et 40 mg insecticide kg⁻¹ de sol sec. Le mélange a lieu dans l'obscurité dans un flacon en polyéthylène afin d'éviter la photodégradation de la matière active [16,17].

Tableau I: caractéristiques physico-chimiques des sols (0-20 cm)

Paramètres	sols	
	NY	TY
Argile (%)	12,6	79,3
Limon (%)	36,4	15,5
Sable (%)	51	5,2
Carbone organique Total (%)	0,38	0,68
Na ⁺ (cmol+/kg)	0,25	0,6
K ⁺ (cmol+/kg)	0,8	0,1
Ca ²⁺ (cmol+/kg)	4,2	4,8
Mg ²⁺ (cmol+/kg)	1,6	2,8
pH(KCl)	5,2	3,6
Capacité maximale de rétention d'eau par 100 g de sol (mL)	24	60
CEC-Ag (cmol+/kg)	7,1	8,4

2.4. Simulation de la pluviométrie

Les précipitations dans les zones aride, semi-aride et soudano-sahélienne sont respectivement autour de 0, 350 et 700 mm^[31,32]. 1 mm de pluie est défini comme 1 L de pluie équitablement répartie sur une surface de 1 m² du sol. La simulation de la pluie a été effectuée au “Laboratoire Sol Eau Plante” de l’Institut de l’Environnement et de Recherches Agricoles (INERA), Ouagadougou Burkina Faso^[30,33,34]. Les résultats obtenus pour nos échantillons de sols contenus dans des flacons en polyéthylène de cinq (5) cm de diamètre sont respectivement de 0 ; 2,5 et 5 mL/semaine. Le traitement a duré pendant trois (3) mois (janvier à mars), afin de couvrir la durée moyenne de la saison des pluies dans la sous-région^[31,32].

2.5. Etude de la biodégradation de l’insecticide pyréthrinioïde

Pour chaque zone, les échantillons de sols correspondant sont conservés dans un incubateur de 25 – 30 °C. Une journée de la semaine est choisie au hasard pour injecter la quantité d’eau correspondante à l’aide d’une seringue. Des échantillons témoins de 0 et 40 mg de matière active/kg de sol sec sont soumis au même traitement de 0 ; 2,5 et 5 mL d’eau distillée/semaine. Parallèlement, pour le suivi de l’impact de l’incubation du sol sur le processus de dégradation de la deltaméthrine, la matière insecticide est ajoutée au sol après une incubation d’une semaine. Ce sol est préalablement humidifié au 2/3 de sa capacité de rétention d’eau. Les volumes d’eau nécessaires sont de 2/3 × 24 mL et 2/3 × 60 mL respectivement pour les 100 g de sols NY (sablonneux) et TY (argileux)^[30,35]. Ils sont conservés dans l’incubateur entre 25 – 30 °C.

2.6. Extraction de l’insecticide des sols

Pour les échantillons de sol correspondant à la zone aride, dix (10 g)

grammes de sol sont prélevés après 0 et 2 semaines, 1 mois, 2 mois et 3 mois pour extraire les résidus de la deltaméthrine. Pour les échantillons des zones semi-aride et soudano-sahélienne qui sont humidifiés et les échantillons préalablement incubés, la quantité de sol (m_i) prélevée est calculée suivant l’équation suivante (Eq.1):

$$m_i = (m_{t_i} - m_0)(10 - i)$$

Avec m_{t_i} la masse de l’échantillon à $t_i = 0$, 2 semaines, 1 mois, 2 mois et 3 mois; m_0 la masse du flacon vide, déterminée avant la préparation de l’échantillon et $i = 0, 1, 2$ et 3.

Les dix (10 g) grammes de sol sec ou les m_i g de sols humidifiés sont introduits dans un flacon de 100 ml, puis 50 ml d’une solution mixte de solvant hexane/isopropanol (3/1) sont ajoutés. Le mélange est ensuite vigoureusement agité pendant 45 mn et laissé à décanter pendant 30 mn. Puis 10 ml de surnageant sont prélevés et introduit dans une ampoule à décanter de 500 ml contenant 15 ml d’eau distillée. Après agitation pendant 2 min et décantation pendant 30 min la phase organique est recueillie, séchée à l’aide du sulfate de sodium anhydre et filtrée sur papier Wattman^[30,35].

Les extraits d’insecticides ont été conservés dans des flacons en verre au réfrigérateur jusqu’à l’analyse. Ils sont préalablement protégés de la lumière à l’aide de papier d’aluminium.

3. Résultats & discussions

3.1. Mesures analytiques

Le suivi de la biodégradation a été réalisée grâce un spectrophotomètre Hélios Alpha (Thermo)^[16]. Les spectres indiquant la variation de l’absorbance de la solution en fonction de la concentration en deltaméthrine du milieu sont montrés dans la **Figure 1**. Le blanc NY (respectivement TY) est obtenu des échantillons témoins respectifs non-amendés d’insecticide.

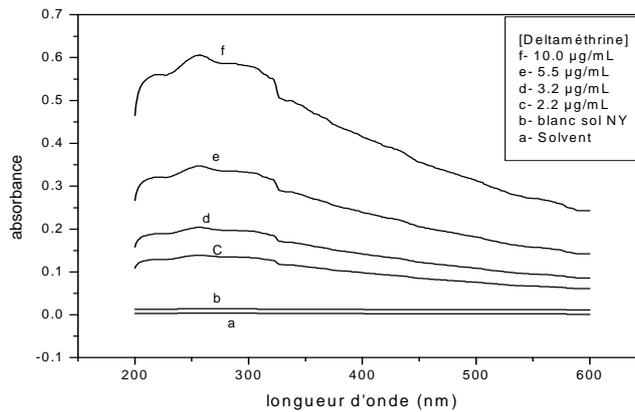


Figure 1: Spectres d’absorption UV-Visible des extraits de deltaméthrine

La procédure d’extraction du point 2.6 de la partie expérimentale est aussi appliquée pour la préparation des différents blancs.

Une méthode spectrophotométrique, simple, précise et reproductible a été préalablement élaborée pour le suivi de la biodégradation de la deltaméthrine. L’absorbance est mesurée au maximum de la bande d’absorption située entre 200 et 300 nm. Une courbe de calibration montrant la variation de l’absorbance en fonction de la concentration a été établie. Toutes les absorbances sont corrigées à l’aide du signal du blanc approprié. Les résultats obtenus sont présentés dans la **Figure 2**.

La longueur d’onde choisie pour la mesure

de l’absorbance (λ_{abs}) est 257 nm; une courbe de calibration quasi linéaire ($R^2 = 0.998$) a été obtenue dans le domaine de concentration de 2,5 à 28,5 mg/L; la limite de détection (LOD) définie comme étant la quantité d’analytes donnant un ratio signal-bruit égale à 3 est de l’ordre de 0,45 mg/L; la limite de quantification de la méthode (LOQ) qui est la quantité d’analytes donnant un ratio signal bruit égale à 10 est de l’ordre de 1,5 mg/L; La limite de détection absolue (ALOD), calculer sur la base du volume de 2,5 mL de la cellule d’analyse est de 1,125 µg. Afin d’avoir une idée de la précision et de la répétabilité des résultats, la déviation standard relative ^[36] de la méthode a été calculée sur six mesures %RSD (n=6) = 3,3%.

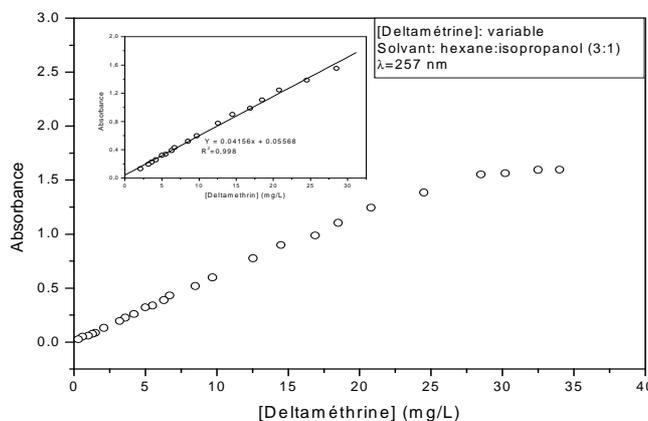


Figure 2: Courbe de calibration pour le dosage de la deltaméthrine

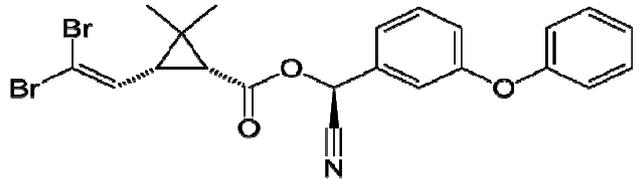
3.2. Biodégradation de la Deltaméthrine en zones aride, Semi-aride et soudano-sahélienne

La deltaméthrine est un insecticide de large spectre^[20,37] ; ses propriétés physico-chimiques sont regroupées dans le **Tableau II**. On constate que la deltaméthrine est peu soluble dans l'eau mais a une capacité d'adsorption très élevée sur la matière organique (K_{OC}). Ce qui fait que cet insecticide une fois fixé aux sédiments est entraîné par ruissellement dans les cours d'eau. Par ailleurs, quand la deltaméthrine est exposée à une radiation UV-Visible, elle est photodégradée (durée de demi-vie < à 2 mois). Par contre, en l'absence de la lumière, elle est relativement stable dans

l'eau^[16]. Elle se lie solidement au sol et/ou aux sédiments ; ce qui la protégerait des réactions d'hydrolyse. Dans ce cas, la biodégradation sous l'influence de la flore microbienne reste la voie principale de sa dégradation aussi bien dans l'eau que dans le sol. La température et l'humidité, jouent un rôle déterminant dans ce processus^[13,30,35].

Les résultats de la biodégradation de la deltaméthrine dans l'obscurité dans les conditions de température (25 à 30°C) et de pluviométrie des zones aride (0 mm), semi-aride (350 mm) et soudano-sahélienne (700 mm) dans un sol sablonneux (sol NY) et un sol argileux (sol TY) sont présentés dans la **Figure 3**.

Tableau II: caractéristiques physico-chimiques de la deltaméthrine

Deltaméthrine (C ₂₂ H ₁₉ Br ₂ NO ₃)	
Nom IUPAC	[Cyano-(3-phenoxyphenyl)-methyl] 3-(2,2-dibromoethenyl)-2,2-dimethyl-cyclopropane-1-carboxylate
Formule développée	
Solubilité/ eau	0,2-2 µg/L (25°C). ^[3,8]
Partition coefficient	K _{ow} Coefficient de partition Octanol-eau (log K _{ow}): 6,1. ^[38]
	K _{oc} Coefficient de partition carbone organique - eau: 16344 cm ³ /g. ^[38]
Hydrolyse	pH 5 (tampon phosphate): négligeable. ^[16,39,40] pH 7 (tampon phosphate): négligeable. ^[16,39,40] pH 9 (tampon phosphate): demi-vie : 2,5 jours. ^[16,39,40]
Photolyse	Photolyse rapide sous lampe xénon à haute intensité (30 000 lux) ^[16,17,36] . Photolyse sous UV-Visible: demi-vie 48 jours. ^[29]

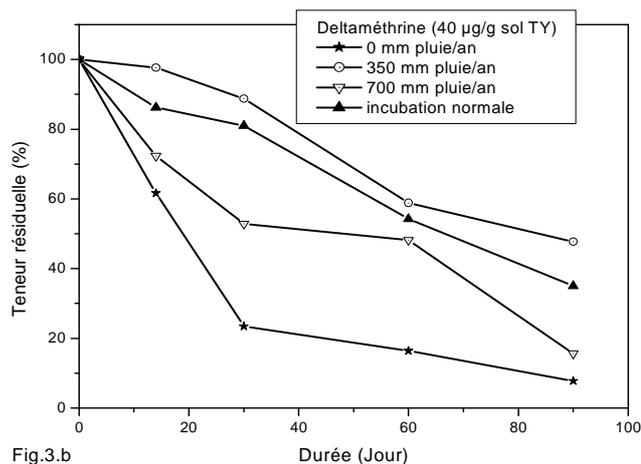
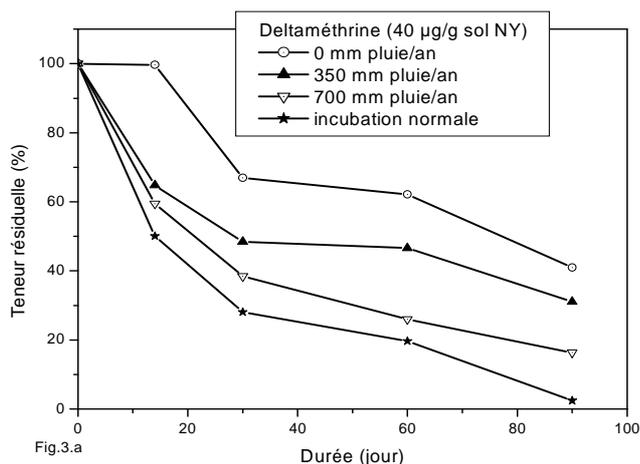


Figure 3: Taux restants de deltaméthrine dans le sol sablonneux NY (Fig.3.a) et le sol argileux TY (Fig.3.b) en zones aride, semi-aride et soudano-sahélienne sur 3 mois.

L'aspect des courbes de biodégradation de la deltaméthrine dans le temps est similaire dans les trois zones et dans les deux sols. La dégradation de l'insecticide est plus importante en zones humides (semi-aride et soudano-sahélienne) qu'en zone aride. En effet, à la température ambiante locale, l'humidité est favorable à la multiplication et à l'activité de la flore microbienne [30,35]. Ce qui expliquerait le taux de biodégradation important dans les deux sols après une incubation préliminaire d'une semaine avant le traitement insecticide. La présence de l'insecticide dans le milieu avant l'incubation en zone semi-aride et soudano-sahélienne explique probablement la relative inhibition de l'activité microbienne dans ces zones malgré l'humidification. Les taux d'insecticides restant dans le sol sablonneux NY, après 3 mois (**Fig.3.a**) sont de 41, 31 et 16% respectivement sous les conditions climatiques des zones aride (0 mm), semi-aride (350 mm) et soudano-sahélienne (700 mm). Dans le sol argileux (TY) (**Fig.3.b**), les taux d'insecticides restant sont respectivement de 48, 35 et 21%. La dégradation de la deltaméthrine est plus importante dans le sol sablonneux (sol NY) que dans le sol argileux (sol TY). Cela est probablement lié à la teneur

relativement faible en argile (NY : 12,6% ; TY : 79,3%) et en matière organique (NY : 0,38% ; TY : 0,68%) de ce sol. En effet, les insecticides pyréthrinoïdes sont hydrophobes, ils sont solidement adsorbés sur les matériaux argileux, la matière organique et les sédiments. Cela pourrait affecter de manière drastique leur processus de biodégradation.

Dans le milieu sahélien, à la biodégradation de la deltaméthrine s'ajouterait une dégradation abiotique (photochimique) non négligeable [16,17,36]. En effet, les insecticides pyréthrinoïdes en général et la deltaméthrine en particulier sont très sensibles aux radiations solaires [16,17,36]. Les métabolites majeurs de la deltaméthrine formés dans les matrices environnementales (sols et eaux) lors des différentes voies de dégradation sont bien connus [41-43]. Il s'agit principalement de l'acide décamétrique (Br₂CA) (ou acide 3-(2,2-dibromovinyl)-2,2-(diméthylcyclopropane-1-carboxylique) et du 3-phénoxy-benzaldéhyde. Ce dernier peut s'oxyder à son tour pour donner l'acide 3-phénoxy-benzoïque [43]. Le mécanisme de la biodégradation de la deltaméthrine sous l'activité catalytique de la microflore peut être résumé comme suit (**Figure 4**) [41-43].

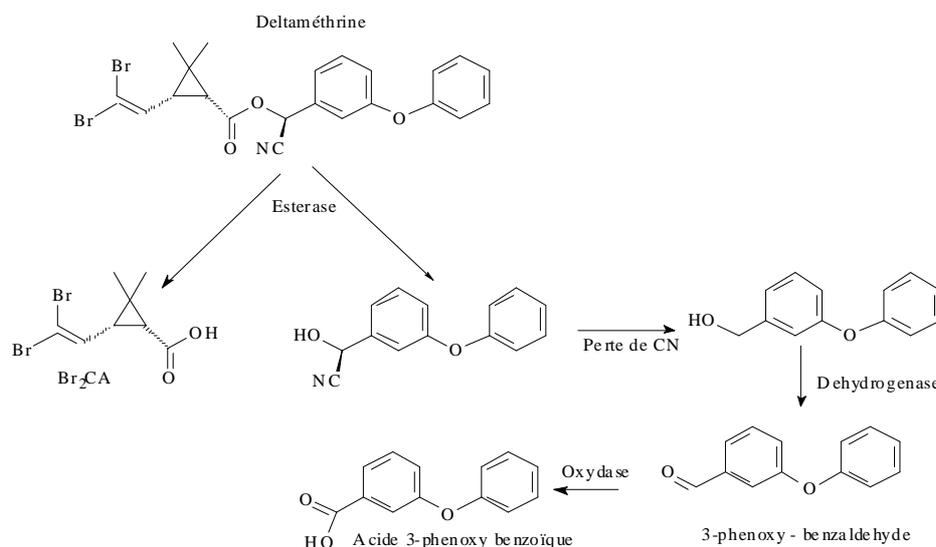


Figure 4 : Mécanisme résumé de la biodégradation de la deltaméthrine dans le sol.

3.3. Impact de la teneur en deltaméthrine sur le taux de biodégradation

L'étude précédente avait montré que: (i) l'humidité (pluviométrie) du milieu influence la biodégradation de la deltaméthrine et (ii) la présence dans le milieu de l'insecticide avant l'incubation inhibe relativement le processus de biodégradation. Une étude antérieure avait montré aussi que certains insecticides comme l'endosulfan, inhibe l'activité respiratoire et la multiplication des microorganismes des sols sablonneux des régions cotonnières de Farakoba, Boni et Kaïbo du Burkina Faso [30,35]. Afin de saisir avec précision l'impact de la teneur en deltaméthrine du sol sur la biodégradation, le sol NY (respectivement TY) a été directement amendé sans incubation

préliminaire de 10, 20 et 40 mg insecticide kg^{-1} sol sec. Les résultats obtenus sont regroupés dans le **Tableau III**.

En comparant les différents résultats, on constate dans les deux sols que le taux de biodégradation de la deltaméthrine décroît quant la teneur en insecticide dans le milieu augmente. Par ailleurs, pour les sols amendés de 40 mg d'insecticide par kilogramme de sol, on constate que l'incubation préliminaire d'une semaine avant l'application de l'insecticide a plus favorisé la dégradation de l'insecticide. En effet, les taux de dégradation de 98 et 92 % observés après 3 mois respectivement dans les sols NY et TY incubés (voir Figure 3) ne sont que de 84% et 78% dans les mêmes sols non préalablement incubés (voir **Tableau III**).

Tableau III: Impact de la présence de l'insecticide dans le sol avant l'incubation sur le taux de biodégradation en zones aride, semi-aride et soudano-sahélienne

Nature du sol	Sol NY			Sol TY		
	0	350	700	0	350	700
Pluviométrie (mm)	0	350	700	0	350	700
Taux de dégradation (%) de 40 mg ma.kg^{-1} de sol amendé	59%	69%	84%	53%	65%	78%
Taux de dégradation (%) de 20 mg ma.kg^{-1} de sol amendé	73%	81%	86%	67%	74%	84%
Taux de dégradation (%) de 10 mg ma.kg^{-1} de sol amendé	81%	100*	100*	74%	100*	100*

*La deltaméthrine n'est plus détectable dans le milieu même après addition de cinq (5) extraits pré-concentrés.

4. Conclusion

La large utilisation des insecticides pyréthrinoïdes dans la lutte contre le paludisme en Afrique Subsaharienne contribuera à une contamination importante du continent dans les années à venir. Ainsi, il est plus que nécessaire de comprendre le devenir de ces molécules dans les conditions propres aux différentes zones palustres. La dégradation de la deltaméthrine en particulier et des pyréthrinoïdes en général dépend fortement des caractéristiques physico-chimiques du sol, de l'humidité mais aussi de la température ambiante. La deltaméthrine est plus dégradée en zone soudano-sahélienne et semi-aride (relativement humide) qu'en zone désertique (sèche). Dans les conditions des zones climatiques étudiées, la deltaméthrine est relativement moins dégradée dans le sol riche en argile et en matière organique. Par ailleurs, la capacité de bioremediation de la microflore du sol diminue avec l'accumulation de la teneur de l'insecticide dans les différents sols.

Remerciements

Ce travail a été financé par La Coopération Technique Belge (CTB-Niger) dans le cadre d'une Bourse 2009-2010 de perfectionnement en Toxicologie chimie de l'environnement au Laboratoire Sol Eau Plante de l'INERA, Ouagadougou. Nous remercions l'Université Abdou Moumouni de Niamey pour son soutien à ce projet.

Bibliographie

[1]. Lengeler C., Insecticide-treated bed nets and curtains for preventing malaria, Cochrane Database of Systematic Reviews (2004). Issue 2, Art. No.: CD000363.
[2]. Darriet F., Marcombe S., Corbel V., Saisine n° 2006 / 007 (2007) ; Avis Afsset P16-61. <http://www.afsset.fr>
[3]. <http://www.epa.gov/pesticides/health/mosquitoes/pyrethroids4mosquitoes.htm>

[4]. Recommended Insecticides for Indoor Residual Spraying against Malaria Vectors (2001). Geneva: World Health Organization (WHO).
[5]. Report of the Sixth WHOPEP Working Group Meeting (2002). Geneva: World Health Organization (WHO), 2002.
[6]. Insecticide-Treated Mosquito Net Intervention. A Manual for National Central Programme Managers (2003). Geneva: World Health Organization (WHO).
[7]. Barlow S.M., Sullivan F.M., Lines J., Food Chem Toxicol. (2001) 39, 407-422.
[8]. Rubaihayo J., Tukesiga E., Abaasa A., Malaria Journal (2008) 7, N° 92.
[9]. http://www.who.int/malaria/vector_control/en/
[10]. Ortiz-Pérez M.D., Torres-Dosal A., Batres L.E., López-Guzmán O.L., Grimaldo M., Carranza C., Pérez-Maldonado I.N., Martínez F.; Pérez-Urizar J., Díaz-Barriga F., J. Environ Health Perspect. (2005) 113(6), 782-786.
[11]. Environmental Fate Assessment for the Synthetic Pyrethroids (1999). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Pesticide Programs, Environmental Fate and Effects Division, U.S. Government Printing Office, Washington, DC.
[12]. Elliott M., Janes N F., Potter C., Annual Review of Entomology (1978) 23, 443-469.
[13]. Gan J., Leea S.J., Liub W.P., Haverc D.L., Kabashimac J.N., J Environ Qual. (2005), 34, 836-841.
[14]. Weston D.P., You J., Lydy M. J., Environ. Sci. Technol. (2004) 38, 2752-2759.
[15]. Steinberg S.M., Pignatello J.J., Sawhney B.L., Environ. Sci. Technol. (1987) 21, 1201-1208.
[16]. Adamou R., Abdoulaye A, Soumaila M., Moussa I, Coly A., Tine A.,

- Ikhiri K., *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* (2010) 029, 45-54.
- [17]. Adamou R, Coly A., Abdoulaye A., Soumaila M., Moussa I., Ikhiri K., Tine A., *J Fluoresc.* (2011) 21, 1409-1415.
- [18]. Wang W.W. Aerobic soil metabolism of 14C-deltamethrin (1991). Xenobiotics Laboratories Inc. DT EC EPISM 91 XENO A1 US89097. A47917, 1991a.
- [19]. Wang W.W. Anaerobic soil metabolism of 14C-deltamethrin (1991). Xenobiotics Laboratories Inc. DT EC EPISM 91 XENO A1 US8909B. A47918, 1991b.
- [20]. Munoz-Leoz B., Garbisu C., Antiguada I., Alonso M., Alonso R. M., Ruiz-Romera E., *Soil Sci.* (2009) 174 (4), 220-228.
- [21]. Deltamethrin. In: *Environmental Health Criteria 97*. Geneva: International Program on Chemical Safety, World Health Organization, IPCS/WHO. (1990) 6: 31-59.
- [22]. Thybaud E., *J. Water Sci.* (1990) 3(2), 195-209.
- [23]. Saha S., Kaviraj A., *Bull environ contam toxicol.* (2008) 80(1), 49-52.
- [24]. *Toxicological Profile for Pyrethrins and Pyrethroids* (2001). Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), Atlanta, GA.
- [25]. Keeratikasikorn G., Hooper G.H.S., *J. Aust. Ent. Soc.* (1981) 20, 309-311.
- [26]. Deltamethrin In: *Environmental Health Criteria*. International Program on Chemical Safety (IPCS)/World Health Organization. IPCS/WHO. (1990) 97(6), 31-59.
- [27]. Hawkins D.R., Kirkpatrick D., Ewen B., Midgley I., Biggs S.R., Whitby B.R., *The biokinetics and metabolism of 14C-ethofenprox in the rat*. Huntingdon Research Centre Ltd., England; report no. HRC/MTC 68/84610 (1985). Submitted to WHO by Mitsui Toatsu Chemicals, Inc., Tokyo, Japan.
- [28]. Anadon A., Martinez-Larranaga M.R., Fernandez-Cruz M.L., Diaz M.J., Fernandez M.C., Martinez M.A., *J. Toxicol Appl Pharmacol.* (1996) 141, 8-16.
- [29]. http://www.fao.org/ag/AGP/AGPP/Pesticid/JMPR/Download/2002_eva/DELTAMETHRIN_evaluationjja.pdf
- [30]. Savadogo P.W., Lompo F., Bonzi-Coulibaly Y.L., Traoré A.S., Sedogo M.P., *J. Soc. Ouest-Afr. Chim.* (2008) 026, 79-87.
- [31]. Van Vyve N. *Caractérisation de la variabilité spatio-temporelle de la pluie au Fakara, Niger*. Université Catholique de Louvain, Faculté d'ingénierie biologique, agronomique et environnementale. Mémoire de fin d'étude, 2005-2006.
- [32]. Direction de la Météorologie Nationale (DMN) du Niger. <http://www.meteo-niger.net/>
- [33]. Fermanich, K.J., Daniel T.C., *J. Environ. Qual.* (1990) 20, 195-202.
- [34]. Fermanich K.J., Daniel T.C., Lowery B., *J. Environ. Qual.* (1990) 20, 189-195.
- [35]. Savadogo P.W., Lompo F., Coulibaly K., Traoré O., Traoré A.S., Sedogo M.P., *J. Environ. Sci. Technol.* (2009) 2(1), 12-21.
- [36]. Adamou R, Coly A., Abdoulaye A., Soumaila M., Moussa I., Ikhiri K., Tine A., *Phys. Chem. News* (2011) 57, 117-123.
- [37]. Tomlin, C. D. S., *The Pesticide Manual* (2006). A World Compendium, 14th ed.; British Crop Protection Council: Farnham, UK, pp 286-287.
- [38]. <http://atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp155.html>
- [39]. Smith A.M., *Determination of aqueous hydrolysis rate constant and half-life of deltamethrin* (1990). Bionomics Laboratories. DT RA CPHY 90 SPBI A1 US43310. A45079.
- [40]. Smith A.M., *Determination of adsorption and desorption coefficients of deltamethrin* (1990). Springborn Labs. Inc.

Hoechst-Roussel Agri-Vet Company. DT
RA EPSD 90 SPBI A1 US43311. A47159.

[41]. Fernandez-Alvarez M., Sanchez-Prado L., Lores M., Liompart M., Garcia-jares C., Cela R., *J. Chromatogr. A.* (2007) 1152(2), 156-157.

[42]. Maloney S.E., Maule A., Smith A.R.W., *Appl. Environ. Microbiol.* (1988) 54(11), 2874-2876.

[43]. Pengyan L., Yugie L., Qingxue L ;, Jinwei L., *JESC* (2010), 22(7), 1123-1128.