



**Original Paper**

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

## Contamination du miel par des résidus de pesticides chimiques dans la Commune de Banikoara (Bénin)

Yélian A. Hervé KINDJI<sup>1\*</sup> et Elisabeth YEHOUEYOU AZÉHOUN PAZOU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ecole Doctorale Pluridisciplinaire, Université d'Abomey-Calavi, 01BP526, Cotonou, Bénin.

<sup>2</sup> Laboratoire de Recherches en Biologie Appliquée (LARBA), Département du Génie de l'Environnement, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), Université d'Abomey-Calavi (UAC), 01BP 526 Cotonou, Bénin.

\*Auteur correspondant, E-mail : [kindjiherv@gmail.com](mailto:kindjiherv@gmail.com) ; Tél. : 00 229 97 54 05 43

Received: 22-06-2024

Accepted: 25-09-2024

Published: 31-10-2024

### RESUME

La présente étude se propose de déterminer les niveaux et les risques potentiels pour la santé des pesticides chimiques de synthèse du miel produit dans la Commune cotonnière de Banikoara. Ainsi, de 2021 à 2022, vingt-quatre (24) échantillons de miels multif floraux prélevés dans les localités de Kérérou et de Founougo ont été analysés et quantifiés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse. Les résultats ont montré que quels que soient la période de sa récolte, le lieu où le type de ruche de prélèvement, le miel contenait des résidus de pesticides chimiques. Celui récolté en novembre contenait plus de résidus de pesticides et de matières actives dangereuses que celui de mars. Les trente-cinq (35) molécules actives détectées dans le miel de novembre étaient réparties en seize (16) familles chimiques dont les plus représentatives étaient les organophosphorés (17,14%), les pyréthrinoides (17,14%), les triazoles (14,29%), les triazines (11,43%) et les néonicotinoïdes (8,57%). Les quotients de risque sanitaire les plus élevés avec la lambda-cyhalothrine pour les adultes (1,29E-04) et les enfants (1,33E-04) étaient inférieurs à 1. Bien que ne présentant pas de risques sanitaires, la surveillance du miel doit être de mise.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

**Mots clés :** abeille, *Apis mellifera adansonii*, apiculture, contaminant, ruche.

## Honey contamination by chemical pesticide residues in the Commune of Banikoara (Benin)

### ABSTRACT

The aim of this study is to determine the levels and potential health risks of synthetic chemical pesticides in honey produced in the Banikoara Cotton Commune. Thus, from 2021 to 2022, twenty-four (24) samples of multifloral honey collected in the localities of Kérérou and Founougo were analyzed and quantified by gas chromatography coupled with mass spectrometry. The results showed that regardless of the time of harvest, location or type of hive, the honey contained chemical pesticide residues. Honey harvested in November contained more pesticide residues and hazardous active ingredients than honey harvested in March. The thirty-five (35) active molecules detected in November honey were divided into sixteen (16) chemical families, the most representative of which were organophosphates (17.14%), pyrethroids (17.14%), triazoles (14.29%),

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

9712-IJBCS

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v18i5.30>

triazines (11.43%) and neonicotinoids (8.57%). The highest health risk quotients with lambda-cyhalothrin for adults (1.29E-04) and children (1.33E-04) were less than 1. Although not a health risk, honey should be monitored.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

**Keywords:** bee, *Apis mellifera adansonii*, beekeeping, contaminant, hive.

## INTRODUCTION

Le miel est une substance sucrée produite naturellement par les abeilles mellifères à partir majoritairement du nectar des fleurs qu'elle butine. Dans les pays africains comme le Bénin, le miel provient de l'api-cueillette ou chasse au miel et de l'élevage des abeilles appelé apiculture. Mis à part le Littoral, l'apiculture se pratique dans tous les autres départements du Bénin (MAEP, 2021). Mais de tous les miels produits au Bénin, les populations affichent une nette préférence pour ceux provenant de la partie septentrionale du pays qu'elles considèrent à tort ou à raison comme purs et de meilleures qualités (Yo et al., 2017).

D'après les statistiques du recensement national de l'agriculture effectué de 2018 à 2021, le département de l'Alibori avec ses 3791 ruches vient en seconde position après celui de l'Atacora en termes de volume de production du miel (MAEP, 2021). Or faudrait-il le rappeler, le département de l'Alibori est l'une des quatre grandes zones du bassin cotonnier au Bénin (INSAE, 2020). Dans ce département qui emblave la plus grande superficie de coton conventionnel et qui produit depuis des décennies le plus grand volume de coton-graine, Banikoara est la Commune locomotrice. Cette Commune a battu les records dans la production du coton conventionnel depuis 2008 avec une production qui s'établit à 142704 tonnes en 2017 contre 116055 tonnes en 2016 (INSAE, 2020). La cotonculture conventionnelle est très vorace en pesticides chimiques de synthèse, notamment les herbicides les insecticides et les fongicides.

Différents travaux de recherche ont été menés sur l'apiculture au Bénin. Ces travaux ont porté sur les techniques apicoles (Paraíso et al., 2012b), la caractérisation morphométrique des abeilles mellifères (Paraíso et al., 2011),

l'analyse pollinique et l'identification de quelques plantes mellifères (Yédomonhan et al., 2009), les aspects socio-économiques de l'apiculture (Yédomonhan et Akoègninou, 2009 ; Ahouandjinou et al., 2016), les caractéristiques physico-chimiques du miel (Djossou et al., 2013) et l'évaluation des contraintes au développement de l'apiculture (Paraíso, 2015). Mais à notre connaissance, peu de travail de recherche a porté de façon spécifique sur la contamination du miel par les résidus de pesticides chimiques de synthèse dans la Commune de Banikoara. En considération d'abord de l'importance que revêt le miel pour les consommateurs béninois, ensuite de toutes les craintes de sa contamination sus évoquées puis des exigences sanitaires des pays importateurs de miel de l'Union Européenne et enfin du manque de travaux de recherche notamment sur la sécurité sanitaire du miel, il urge d'évaluer la qualité chimique sous l'angle des résidus de pesticides du miel produit dans la Commune cotonnière de Banikoara au Bénin.

## MATERIEL ET METHODES

### Milieu d'étude

L'étude s'est déroulée à Banikoara qui est l'une des vingt-sept Communes du Nord Bénin. Elle est située entre 11°02' et 11°34' Nord puis 2°05' et 2°46' Est (Figure 1). La population totale de Banikoara est estimée à 152.028 habitants dont 75829 hommes et 76199 femmes (INSAE, 2002). Banikoara couvre une superficie de 4383 km<sup>2</sup> dont environ 49% de terres cultivables et 50% d'aires protégées. Le relief est une pénéplaine avec la présence de différents types de sols. Le climat est de type sahélo-soudanien avec une saison pluvieuse et une saison sèche. Tous ces atouts naturels sont favorables à l'agriculture et au développement d'une végétation mellifère abondante. La principale activité pratiquée par

les populations majoritairement Bariba est l'agriculture avec en tête la culture du coton conventionnelle (MAEP, 2014) qui nécessite l'utilisation d'intrants chimiques de synthèse (engrais et produits phytosanitaires), sources de contamination des eaux, des sédiments, des sols, des poissons, du miel... (Adam et al., 2010 ; Agbohessi et al., 2011 ; Kindji, 2016 ; Pelebe, 2019). De nombreux cas d'intoxications alimentaires dues aux pesticides sont enregistrés chaque année dans ladite Commune (MAEP, 2014). Outre l'agriculture, d'autres activités secondaires comme l'élevage, la pêche et l'apiculture y sont pratiquées.

### Matériel

- Matériels pour les travaux de terrain : l'application *DISTANCEMETRE* du smartphone TECNO CAMON 16S modèle TECNO CD6j pour mesurer les distances entre ruchers et champs cotonniers ; une Moto HAOJUE XPRESS a été utilisée pour les déplacements sur le terrain lors de l'estimation des distances puis de la collecte des échantillons de miel frais ;
- Matériel de conception de carte : les fonds topographiques de l'Institut Géographique National et le logiciel de Système d'Information Géographique (SIG), Arc GIS ;
- Matériel biologique : le miel frais de nectar multi floral récolté dans deux différents ruchers et à différentes dates pour la recherche des résidus de pesticides et leur quantification au laboratoire ;
- Matériel de prélèvement des échantillons de miel poly floral : les combinaisons intégrales, les gants et les bottes ont permis d'éviter les piqûres d'abeilles lors du prélèvement du miel des ruches ; l'enfumeur dont la fumée a calmé les abeilles et limité leur agressivité pendant la récolte ; une brosse à abeilles ; un couteau à désoperculer les alvéoles, des bouteilles en polyéthylène d'une contenance d'un litre dans lesquelles les échantillons de miel ont été prélevés ;
- Matériel, équipement et appareillage de laboratoire : réfrigérateur pour la conservation des échantillons ; UPLC Acquity couplé à un spectromètre de masse Xevo TQ-S micro de

Waters pour la détection et la quantification des pesticides ; agitateur-homogénéisateur ; balance analytique de résolution 0,1 mg pour faire les pesées ; cartouche SPE de type C18-1000 mg ; centrifugeuse à 3500 tr/min ; tube Falcon de 50 ml ; ampoule piriforme de 50 ml ; pipettes ; béchers ;

- Réactifs et solvants : eau qualité HPLC ; acétonitrile de qualité pour HPLC ; acide formique 95 % ; sulfate de magnésium anhydre ; chlorure de sodium ; citrate trisodique dihydraté ; citrate d'hydrogène disodique sesquihydraté ; PSA ; noire de carbone graphité ; gel de silice C1.

### Méthodes adoptées

#### Estimation de la consommation journalière de miel au Bénin

Les données relatives à la quantité consommée par habitant au Bénin sont inexistantes. De ce fait, les quantités de miel ingérées ont été déterminées suite à une enquête spécifique sur les habitudes alimentaires relativement au miel dans neuf (9) Communes dont trois (3) dans la région méridionale (Cotonou, Abomey-Calavi et Porto-Novo), trois dans la région centrale (Dassa-Zoumè, Bantè et Savalou) et trois dans la région septentrionale (Parakou, Djougou et Natitingou). Il était ressorti de cette enquête, que les adultes consommaient en moyenne mensuellement 0,53 litre de miel soit 750 g ce qui équivaut à une consommation journalière moyenne de 25 g. Par contre pour les enfants, c'est environ 12 g de miel qui étaient ingérés en moyenne chaque jour. Ce sont ces valeurs qui ont été prise en compte pour l'évaluation de la dose journalière d'exposition.

#### Dénombrement et géolocalisation des ruchers

Les enquêtes de terrain ont permis de répertorier tous les ruchers de la Commune dont les coordonnées géographiques ont été relevées par un Global Positioning System (GPS) MAP 64 GARMIN. Les distances entre ces ruchers et les exploitations agricoles ont été ensuite mesurées.

### **Estimation de la distance entre chaque rucher et les exploitations agricoles environnantes puis le choix des ruchers de prélèvements des échantillons de miels**

L'application *DISTANCEMETRE* a servi à mesurer les distances entre ruchers et champs cotonniers mitoyens. Deux critères cumulatifs ont été retenus pour la sélection des ruchers de collecte des échantillons : la distance entre le rucher et les exploitations cotonnières environnantes puis le nombre de ruches colonisées sur le rucher. Ainsi, deux ruchers à savoir le rucher totalisant le plus grand nombre de ruches colonisées et plus proche d'un champ de coton conventionnel puis le rucher comptant le plus grand nombre de ruches et le plus éloigné d'une exploitation cotonnière étaient retenus pour la collecte des échantillons.

### **Choix des ruches de récolte sur chacun des deux ruchers retenus**

Trois types de ruches (kenyane, Dadant et traditionnelle) sont utilisés par les apiculteurs dans la Commune de Banikoara. Une ruche colonisée de chaque type a été choisie au hasard pour le prélèvement des échantillons parmi l'ensemble des ruches colonisées sur chacun des deux ruchers identifiés.

### **Périodes et Nombre de prélèvements des échantillons**

Deux différentes récoltes de miel ont lieu au cours d'une année civile. La première au mois de mars, est la grande récolte (grande miellée) et la seconde en novembre fait suite immédiatement à la production cotonnière, c'est la petite récolte (petite miellée). Les prélèvements ont été faits en 2021 et 2022. Pour chaque récolte d'une année, trois prélèvements ont été effectués au niveau de chacun des deux sites apicoles qui ont été retenus. Le Tableau 1 présente une synthèse du nombre et des dates de collecte des échantillons sur les deux sites.

### **Mode de récolte des échantillons**

Pour chacun des trois types de ruches choisies au hasard sur un rucher, l'apiculteur vêtu de combinaison intégrale, de bottes et de

gants, grâce à un enfumoir Dadant 10" a calmé les abeilles, ouvert la ruche et retiré des rayons de miel operculés à 80% au moins. Les abeilles ont été délicatement nettoyées avec une brosse, les rayons ont été désoperculés à l'aide d'un couteau et directement pressés dans un bocal en polyéthylène stérilisé d'un litre de contenance (ce qui équivaut à 1,4 kg de miel frais) fourni par le laboratoire. Il a fallu à chaque fois environ 3 gâteaux de miel par ruche pour obtenir 1 litre de miel dans le bocal.

### **Codification et conservation des échantillons récoltés**

En ce qui concerne les références des échantillons, une encre indélébile a été utilisée pour codifier sur le bocal chaque prélèvement. La syntaxe du code utilisé était formée de trois lettres dont la 1<sup>re</sup> lettre était l'initiale du nom de la localité où le rucher était implanté, la 2<sup>e</sup> lettre était R l'initial du mot ruche et la 3<sup>e</sup> lettre était l'initial du type de ruche (K ou D ou T respectivement pour Kenyane, Dadant ou Traditionnelle). Les trois lettres étaient suivies du mois et de l'année du prélèvement. Les échantillons ainsi codifiés ont été conservés avec du matériel réfrigérant (glaçons) dans une glacière pour être transportés au laboratoire d'analyse IRGIB-AFRICA à Cotonou où ils ont été stockés dans un réfrigérateur à une température de -20°C jusqu'à l'analyse. Les fiches d'identification des échantillons précisant la date, l'heure, le lieu...des prélèvements ont été également renseignées.

### **Détection et quantification des résidus de pesticides**

Les vingt-quatre (24) échantillons du miel de nectar poly floral prélevés ont été analysés par le laboratoire de l'Institut Régional du Génie Industriel, des Biotechnologies et Sciences Appliquées (IRGIB-AFRICA) de Cotonou. Dans un premier temps, la méthode de screening qui est une méthode analytique permettant la détection d'un nombre élevé d'analyte dans un seul échantillon a été utilisée pour déterminer les résidus de pesticides contenus dans ces différents échantillons. Ladite méthode s'est déroulée en deux principales étapes qui étaient

l'extraction des résidus et l'analyse des extraits concentrés par chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CPG/SM). Dans un second temps, parmi les matières actives qui ont été détectées par screening dans les différents miels échantillonnés, seules les concentrations de celles qui appartenaient aux classes de toxicité I et II selon la classification de l'OMS (OMS, 2019) ont été déterminées.

### **Evaluation quantitative des risques sanitaires liés à l'ingestion des résidus de pesticides dans le miel**

L'évaluation des risques sanitaires liés à l'ingestion des pesticides dans le miel s'est faite en 3 étapes :

#### **Etape 1 : Identification des dangers**

L'ultime but de cette première étape était la sélection sur la base de critères choisis, des polluants chimiques à prendre en compte dans l'évaluation quantitative des risques sanitaires. Il a été tenu compte ici de la dangerosité des molécules actives. Ainsi, seules les molécules des classes I et II (classification de l'OMS) détectées par screening et dont les concentrations ont été déterminées, ont servi à l'évaluation quantitative des risques sanitaires.

#### **Etape 2 : Evaluation de l'exposition de la population aux résidus de pesticides via l'ingestion du miel**

Les scénarios d'exposition où l'individu est le plus à risque (hypothèse maximaliste) ont été utilisés. L'équation [1] de l'U.S. EPA (2015) a permis de calculer la Dose Journalière d'Exposition chronique par voie orale à chacun des résidus quantifiés :

$$DJE = \frac{C_{mi} \times Q \times F_{a,ing} \times FE}{PC_m} \quad [1]$$

Avec :

DJE : Dose Journalière d'Exposition aux résidus de pesticides (mg/kg/j).

$C_{mi}$  : Concentration moyenne (mg/kg) du pesticide  $i$  dans les miels échantillonnés. Pour plusieurs valeurs différentes d'une matière active donnée (valeur de mars et valeurs de novembre), la plus forte a été prise en compte dans le calcul de la DJE.

Q : Quantité de miel ingéré par personne par jour (kg/j). D'après les données qui ont été collectées par enquêtes, les adultes au Bénin consommaient en moyenne 25 g et les enfants de plus de 18 mois prenaient en moyenne 12 g de miel par mois. Ce sont ces valeurs qui ont été utilisées pour les calculs.

$F_{a,ing}$  : Fraction du contaminant ingéré et réellement absorbé par jour (mg/kg). La fraction de contaminants réellement absorbés a été prise pour 100% des fractions ingérées.

FE : Fréquence d'Exposition au contaminant exprimée en jours/année ( $F=1$ ). Il a été considéré ici que le miel était consommé chaque jour et une fois par jour.

$PC_m$  : Poids Corporel moyen de la cible (kg). Les poids corporels moyens de 28 kg pour les enfants de 18 mois à 18 ans et de 60 kg pour les adultes ont été considérés (ASTEE, 2003). L'âge minimum de 18 mois a été choisi chez les enfants parce que l'OMS interdit formellement de donner du miel aux enfants moins de cet âge pour prévenir les risques de botulisme.

#### **Etape 3 : Caractérisation du risque sanitaire**

La caractérisation du risque sanitaire basée sur le calcul du Quotient de Risque Sanitaire (QRS) ou Quotient de Danger et l'Indice de Danger (ID) dans le cas d'une exposition chronique par voie orale aux pesticides ayant des effets toxiques à seuil, a été utilisée.

#### **Quotient de Risque Sanitaire (QRS) ou Quotient de Danger (QD)**

Le QRS a été calculé pour chaque pesticide selon l'équation [2] proposée par l'U.S. EPA et d'autres auteurs (U.S. EPA, 2015). Il est simplement le rapport entre la DJE et la dose journalière admissible (DJA) établie par l'OMS/FAO pour le contaminant en question :

$$QRS = \frac{DJE}{DJA} \quad [2]$$

Où :

QRS est le Quotient de Danger (adimensionnel) ;

DJE est la Dose Journalière d'Exposition (mg/kg/j) ;

DJA est la valeur toxicologique de référence établie pour certaines molécules par l'OMS et

la FAO. Elle est exprimée en mg/kg/j.

Interprétation : si la valeur du QRS est < 1, la survenue d'un effet toxique est peu probable pour la population exposée. Par contre, si la valeur du QRS > 1, des effets toxiques sont susceptibles de se produire (U.S. EPA, 2015). Cette formule s'est appliquée à chaque substance prise individuellement et ne renseignait pas sur l'effet résultant de l'exposition à un mélange de substances d'où le recours à l'indice de danger.

### Indice de Danger (ID)

En raison des effets complémentaires ou synergiques des contaminants sur le même organe ou systèmes d'organes cibles, les valeurs des quotients de risques sanitaires spécifiques des éléments potentiellement toxiques ont été additionnées pour obtenir l'indice de danger. Ainsi, dans le cas de la présente recherche, c'est la somme algébrique des QRS de toutes les molécules actives de classe I et II qui ont été additionnées. Il a été matérialisé par la formule générique [3] de U.S. EPA (2015).

$$ID = \sum QRS = QRS_{(toxique\ 1)} + QRS_{(toxique\ 2)} + QRS_{(toxique\ 3)} + \dots + QRS_{(toxique\ n)} \quad [3]$$

Interprétation : Si ID était < 1, cela signifiait qu'il n'y a pas d'effets néfastes non cancérogène pour la population exposée mais si ID ≥ 1, cela signifiait qu'il y a une probabilité d'effets indésirables pour la santé des consommateurs (U.S. EPA, 2015).

### Assurance qualité de la méthode

Des procédures d'assurance qualité et des précautions appropriées ont été envisagées

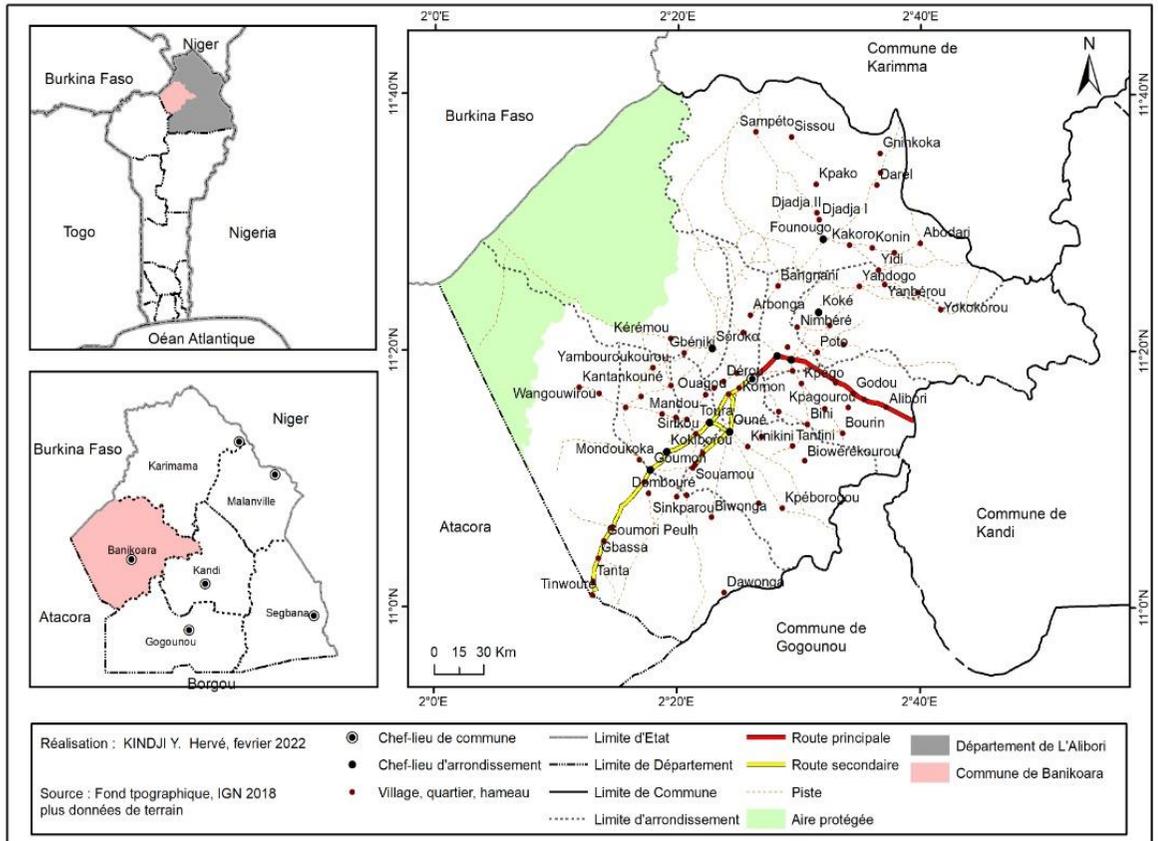
et appliquées pour confirmer la fiabilité des résultats. De ce fait, les critères suivants ont été appliqués lors des différentes étapes du programme de mesure : la courbe d'étalonnage doit se composer d'au moins 5 points. Si cette valeur ne peut pas être respectée, une nouvelle courbe doit être tracée ; le coefficient de corrélation de la courbe d'étalonnage doit être d'au moins 0,995 pour les molécules individuelles ; le chromatogramme du solvant blanc ne peut présenter aucun pic supérieur à la limite de détection (LD) à l'endroit des molécules de pesticides ; le chromatogramme du blanc de procédure ne peut présenter aucun pic supérieur au seuil de détermination (LQ) à l'endroit des molécules de pesticides. Le cas échéant, la cause de la contamination doit être recherchée et éliminée ; pour l'échantillon de contrôle ou le dopage à 100 ppb, la récupération des pesticides individuels doit être de 70-120%.

### Analyse statistique

Les résultats ont été présentés sous forme de moyenne et d'écart-type à l'aide du logiciel tableur Microsoft Excel 2016. Ensuite, les différences statistiques significatives (P < 0,05) ont été déterminées par une analyse de variance (ANOVA). En outre, le test de corrélation de Pearson a été effectué pour déterminer la relation entre les concentrations des différents résidus de pesticides dans les échantillons de miel ou entre les résidus et les sites d'échantillonnages. Enfin, l'analyse en composantes principales (ACP) a été exploitée pour vérifier la similarité entre les variables résidus de pesticides et les saisons.

**Tableau 1** : Dates et nombres de prélèvements par récolte de 2021 à 2022.

	Dates de récolte des échantillons				Total des prélèvements par rucher pour les deux campagnes
	31 mars 2021	30 novembre 2022	26 mars 2022	28 novembre 2022	
Site 1	3	3	3	3	12
Site 2	3	3	3	3	12
<b>Total des collectes par récolte</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>24</b>



**Figure 1** : Découpage administratif et situation géographique de la Commune de Banikoara.

## RESULTATS

### Nombre de substances actives détectées dans les miels échantillonnés

Les matières actives détectées dans les vingt-quatre (24) échantillons de miel collectés en mars et novembre 2021 puis en mars et novembre 2022 ont été consignées dans le Tableau 2. Sur le rucher de Founougo et celui de Kérérou, chacun des échantillons collectés aux mois de mars 2021 et 2022 contenait quatorze (14) matières actives. Ces molécules identiques pour tous les échantillons et tous les types de ruches étaient le bromopropylate, la cyperméthrine, le cyproconazole, le fipronil, le flubendiamide, le fluométron, l'hexaconazole, l'imidaclopride, le lindane, le penconazole, la prométryne, le téflubenzuron, la terbutryne, le trifloxysulfuron-sodium. Parmi ces 14 molécules, 35,71% se

retrouvaient dans les pesticides officiellement homologués et utilisés au cours des trois (3) campagnes cotonnières 2019-2020 ; 2020-2021 ; 2021-2022. Par ailleurs, pour les mois de novembre 2021 et 2022, le screening a fait ressortir dans chacun des échantillons, trente-cinq (35) matières actives de pesticides. Ces molécules étaient identiques pour tous les échantillons de miel des deux ruches et types de ruches ciblés. Aux 14 matières actives retrouvées en mars s'étaient ajoutées vingt-et-une (21) autres molécules que sont : abamectine, acétamipride, atrazine, bifenthrine, bitertanol, chlorpyrifos-éthyl, chlorfenvinphos, cyfluthrine, deltaméthrine, diazinon, difénoconazole, glyphosate, lambda-cyhalothrine, perméthrine, pirimiphos-méthyl, pirimicarbe, profénofos, terbutylazine, thiaméthoxame, trifloxystrobine et

vinclozoline. De même, sur l'ensemble des 35 molécules, il faut également signaler la présence de huit (8) substances actives (22,86%) qui existaient dans les pesticides officiels des campagnes cotonnières 2019-2020 ; 2020-2021 ; 2021-2022. Il n'y avait pas une différence significative entre les types et le nombre de pesticides d'un site à l'autre au cours de la même période ( $p$ -value > 0,005). L'ACP des résidus de pesticides et des périodes (mois) a montré que les deux axes ont expliqué à plus de 99 % la relation entre ces deux variables dans les deux sites (Figures 2 et 3). Les résidus de pesticides tels que l'imidaclopride, la cyperméthrine et le cyproconazole étaient les plus observés au mois de mars tandis qu'au mois de novembre les résidus de pesticides les plus observés sont lambda-cyhalothrine, cyfluthrine, thiaméthoxame, cyperméthrine, deltaméthrine, acétamipride, difénoconazole et profénofos.

#### **Classes chimiques d'appartenance des matières actives détectées dans les échantillons de miel**

Les familles chimiques auxquelles appartenaient les matières actives sont présentées dans le Tableau 3. Son exploitation a révélé que les quatorze (14) molécules actives détectées dans les échantillons de miels des mois de mars 2021 et 2022 provenaient de onze (11) familles chimiques qui apparaissaient dans des proportions variées (Figure 4). En effet, les triazoles étaient venus en tête dans une proportion de 22%. Ils étaient ensuite suivis des triazines pour un taux de 15%. Les neuf autres familles (carbinol, pyréthriinoïde, phénylpyrazole, thiazolidinone, phénylurée, néonicotinoïde, benzoïlurée, sulfonilurée, organochloré) représentaient chacune 7% des résidus de ce miel. S'agissant des échantillons de miels collectés au cours des mois de novembre 2021 et 2022, les 35 matières actives qui étaient retrouvées dans ces miels peuvent être classées en seize (16) familles chimiques dont la représentativité est illustrée par la Figure 5. Les organophosphorés et les

pyréthriinoïdes arrivaient en tête avec un taux de 17,14% chacun. Viennent après les triazoles (14,29%), les triazines (11,43%) et les néonicotinoïde (8,57%). Chacune des onze (11) familles restantes (avermectine, strobilurine, carbinol, phénylpyrazole, thiazolidinone, phénylurée, organochloré, carbamate, benzoïlurée, sulfonilurée, oxazole) apparaissaient dans une proportion de 2,86%. Il s'est dégagé globalement pour tous les échantillons, que les résidus de quatre classes chimiques de pesticides étaient prépondérants dans le miel qu'il soit récolté en mars ou en novembre, proche ou loin d'un champ cotonnier, dans une ruche Kenyane, Dadant ou traditionnelle Il s'agissait des organophosphorés, des triazoles, des pyréthriinoïdes et des triazines.

#### **Fonctions des molécules actives détectées dans les miels analysés**

Le Tableau 3 renseigne aussi sur les types d'emploi auxquels étaient destinées les matières actives de pesticides décelées dans les miels échantillonnés. En effet, les molécules actives détectées dans les différents échantillons jouaient trois rôles essentiels à savoir insecticides/acaricides, fongicide et herbicide. Dans les miels de mars, les insecticides/acaricides représentaient 50% des molécules actives trouvées, les herbicides 28,57% et les fongicides 21,43%. Pour les miels échantillonnés en novembre, les insecticides/acaricides constituaient 60% des substances actives, suivis en proportions égales des fongicides (20%) et herbicides (20%).

#### **Répartition en classes de toxicité des substances actives détectées dans les miels échantillonnés**

Le Tableau 3 informe également sur les niveaux de toxicité de molécules selon l'OMS (OMS, 2019). Seulement 8,57% des matières actives de pesticides dénombrées dans les échantillons de miel collectés en novembre étaient très dangereux (classe Ib). La majorité d'entre elles (48,57%) étaient de la classe de

toxicité II. Le cumul des deux classes Ib et II totalisaient plus de la moitié, soit environ 57,14% des molécules actives. Les classes III et U représentaient respectivement 25,71% et 17,15%. Il n'y avait pas de matières actives très dangereuses de la classe I dans les échantillons de miel de la grande miellée (mars). Par contre les molécules actives de la classe II y étaient trouvées à 35,71%. La grande proportion, c'est-à-dire 42,86% étaient légèrement dangereuses (classe III) et celles peu susceptibles de présenter un danger aigu (U) s'y trouvaient à 21,43%.

### **Matières actives quantifiées dans les miels échantillonnés**

Les matières actives des classes I et II d'après la classification de l'OMS ont été choisies pour être dosées dans les échantillons de miel. Sur les trente-cinq (35) substances actives détectées dans les miels de novembre, vingt (20) soit 57,14% appartenaient à ces deux classes (Tableau 3). De ces 20 matières actives, trois (3) soit 15% étaient très dangereuses (classe Ib) et dix-sept (17) soit 85% étaient modérément dangereuses (classe II). Les 20 molécules actives de classe I et II étaient réparties dans huit (8) différentes familles chimiques à savoir les pyréthrinoïdes regroupant 30% des matières actives (cyfluthrine, bifenthrine, cyperméthrine, deltaméthrine, lambda-cyhalothrine, perméthrine), les organophosphorés avec 25% des matières actives (chlorfenvinphos, chlorpyrifos-éthyle, diazinon, pirimiphos-méthyl, profénofos), les néonicotinoïdes comptaient 15% des matières actives (acétamipride, imidaclopride, thiaméthoxame), les triazoles avec 10% des matières actives (cyproconazole, difénoconazole) et enfin l'ivermectine (abamectine), le phénylpyrazole (fipronil), les organochlorés (lindane) les carbamates (pirimicarbe) avec chacun 5% des matières actives de classes I et II. Concernant les quatorze (14) matières actives retrouvées dans les miels récoltés en mars, il y avait cinq (5) qui étaient modérément dangereuse

(cyperméthrine, cyproconazole, fipronil, imidaclopride et lindane). Aucune matière active dans ces échantillons de miel n'appartenait à la classe des pesticides très dangereux. L'ensemble des 5 matières actives de classe II contenues dans les miels de mars provenaient à proportion égale (20%) de cinq (5) différentes familles à savoir : pyréthrinoïde, néonicotinoïde, triazole, phénylpyrazole et organochloré. Il est aussi remarqué que les 5 matières actives dangereuses détectées dans les miels de mars font partie des 20 trouvées dans les échantillons de miel de novembre. Ces 5 molécules étaient donc présentes dans les récoltes de toutes les miellées.

### **Niveau de concentration des substances actives dangereuses dans les échantillons de miel de Kérérou et de Founougo**

Le Tableau 4 indique la concentration moyenne, l'écart-type et l'intervalle de concentration (minimum et maximum) des matières actives dangereuses de classes I et II dans les échantillons de miel collectés en mars et novembre 2021 puis 2022 dans les localités de Founougo et Kérérou dans la Commune de Banikoara. Sur les 5 pesticides dangereux dosés dans les échantillons de miel de mars à Founougo, le plus abondant était l'imidaclopride dont les valeurs variaient entre 0,29-0,32 µg/kg avec une moyenne de  $0,298 \pm 0,011$  µg/kg. Le lindane a été le résidu dont la concentration moyenne était la plus faible ( $0,003 \pm 0,001$  µg/kg). Par contre pour les échantillons collectés aux mois de novembre dans la même localité, c'était la lambda-cyhalothrine qui a été la plus prépondérante parmi les 20 molécules dangereuses dosées avec une concentration moyenne de  $0,773 \pm 0,020$  µg/kg et une plage de concentration comprise entre 0,748 et 0,81 µg/kg. Le lindane a toujours gardé la même plus petite valeur ( $0,003 \pm 0,001$  µg/kg). Aux mois de mars à Kérérou, c'était la cyperméthrine d'une concentration moyenne de  $0,184 \pm 0,003$  µg/kg qui était la matière active dangereuse la plus

présente dans les échantillons. Les concentrations de cette molécule ont variée de 0,181 à 0,189 µg/kg. Comme dans les cas précédents, c'était le lindane qui a présenté la plus faible concentration ( $0,003 \pm 0,001$  µg/kg). La lambda-cyhalothrine a été la substance à concentration moyenne la plus élevée ( $0,778 \pm 0,002$  µg/kg) dans les échantillons de miel collectés aux mois de novembre à Kérérou. Le lindane avec  $0,004 \pm 0,001$  µg/kg a été la plus petite teneur mesurée. Dans l'ensemble, que ce soit à Founougo ou à Kérérou, en mars ou en novembre, le lindane a présenté la concentration moyenne la plus faible dans tous les échantillons ( $0,003 \pm 0,001$  µg/kg) alors que c'était la lambda-cyhalothrine qui avait la teneur moyenne la plus élevée ( $0,778 \pm 0,002$  µg/kg). Des trois molécules dangereuses qui avaient les concentrations les plus fortes pour tous les échantillons réunis, l'ordre décroissant de ces concentrations étaient lambda-cyhalothrine > imidaclopride > cyperméthrine. Les molécules très dangereuses de la classe Ib (abamectine, chlorfenvinphos, cyfluthrine) décelées uniquement dans les échantillons de novembre ne figuraient donc pas parmi celles ayant présenté les plus fortes concentrations. La juxtaposition des concentrations moyennes en substances dangereuses pour tous les échantillons de mars d'une part puis de novembre d'autre part pour les deux sites au cours des campagnes apicoles de 2021 et 2022, a montré que ces concentrations moyennes étaient sensiblement les mêmes pour les 5 molécules actives présentes quelle que soit la période de récolte (Figure 6). Ainsi pour la cyperméthrine on avait 0,184 µg/kg en mars contre 0,189 µg/kg en novembre ; pour le cyproconazole, le fipronil, l'imidaclopride et le lindane, les valeurs étaient respectivement de 0,064 µg/kg contre 0,083 µg/kg ; 0,006 µg/kg contre 0,007 µg/kg ; 0,304 µg/kg contre 0,312 µg/kg et 0,003 µg/kg contre 0,003 µg/kg. Les

matrices de corrélation dans les deux localités ont montré une relation positive mais très faible à certains niveaux avec un intervalle de coefficients allant de 0,33 à 1 pour Founougo et 0,1 à 1 pour Kérérou.

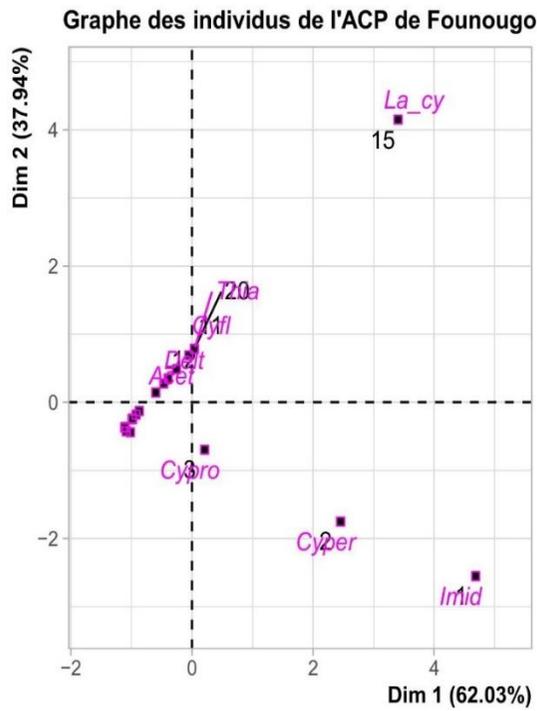
### **Risques alimentaires liés à la consommation des résidus de pesticides à travers le miel de la Commune de Banikoara**

Les DJE des adultes aux substances actives dangereuses des classes I et II retrouvées dans le miel étaient comprises entre  $1,25E-06$  et  $3,23E-04$ . Cette fourchette se situait entre  $1,29E-06$  et  $3,33E-04$  chez les enfants. Globalement, la DJE de chaque molécule au niveau des enfants était légèrement supérieure à celle de la même molécule au niveau des adultes. La substance active présentant la plus faible DJE était le lindane aussi bien chez les enfants que chez les adultes puis la lambda-cyhalothrine était celle qui avait la teneur la plus élevée chez les deux sujets. Concernant le QRS, l'entièreté des valeurs calculées pour toutes les molécules dangereuses dosées étaient inférieures à l'unité donc se situaient dans l'intervalle de sécurité ( $QRS < 1$ ) autant chez les adultes que chez les enfants. Ces valeurs fluctuaient entre  $2,33E-07$  et  $1,29E-04$  chez les consommateurs âgés puis  $2,40E-07$  et  $1,33E-04$  chez les enfants. Les QRS les plus faibles correspondaient à la perméthrine et ceux les plus élevés à la lambda-cyhalothrine. Tout comme pour la DJE, le QRS calculé pour chaque molécule en ce qui concerne les enfants était supérieur à celui de la même molécule chez les adultes. Ainsi, pour les deux molécules à plus faible et plus forte QRS, l'ordre décroissant de valeurs était : QRS lambda-cyhalothrine (enfant) > QRS lambda-cyhalothrine (adulte) > QRS perméthrine (enfant) > QRS perméthrine (adulte). Les indices de dangers inférieurs à 1 étaient de  $4,34E-04$  et  $4,47E-04$  respectivement pour les adultes et pour les enfants.

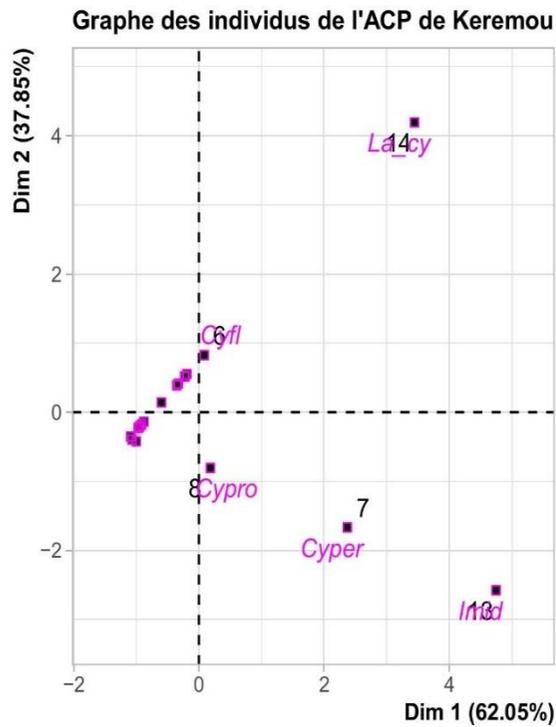
**Tableau 2 :** Résultats des screening non ciblés des vingt-quatre échantillons de miels prélevés à Kérérou et à Founougo en 2021 puis 2022.

ECHANTILLONS	PARAMETRE	METHODE	MATIERES ACTIVES PAR ECHANTILLONS		
<b>MIELS DE MARS 2021 ET MARS 2022</b>					
FRK_mars 2021			Bromopropylate, Cyperméthrine,		
FRD_mars 2021			Cyproconazole, Fipronil,		
FRT_mars 2021			Flubendiamide, Fluométuron*,		
KRK_mars 2021			Hexaconazole, Imidacloprid,		
KRD_mars 2021			Lindane, Penconazole,		
KRT_mars 2021			Prométryne*, Teflubenzuron*,		
FRK_mars 2022	Screening qualitatif	Chromatographie (CPG/MS)	Terbutryne*, Trifloxysulfuron- sodium*		
FRD_mars 2022					
FRT_mars 2022					
KRK_mars 2022					
KRD_mars 2022					
KRT_mars 2022					
<b>MIELS DE NOVEMBRE 2021 ET NOVEMBRE 2022</b>					
FRK_novembre 2021					Abamectine, Acétamipride *,
FRD_novembre 2021			Atrazine, Bifenthrine , Bitertanol,		
FRT_novembre 2021			Bromopropylate, Chlorpyriphos- éthyl*, Chlorfenvinphos,		
KRK_novembre 2021			Cyfluthrine, Cyperméthrine *,		
KRD_novembre 2021			Cyproconazole , Deltaméthrine*,		
KRT_novembre 2021			Diazinon , Difénoconazole, Fipronil		
FRK_novembre 2022	Screening qualitatif	Chromatographie (CPG/MS)	, Flubendiamide, Fluométuron*,		
FRD_novembre 2022			Glyphosate*, Hexaconazole ,		
FRT_novembre 2022			Imidacloprid, Lambda-cyhalothrine,		
KRK_novembre 2022			Lindane , Penconazole, Perméthrine		
KRD_novembre 2022			, Pirimiphos-méthyl, Pirimicarbe,		
KRT_novembre 2022			Profénofos , Prométryne*,		
			Teflubenzuron, Terbutryne ,		
			Terbutylazine, Thiaméthoxame,		
	Trifloxystrobine, Trifloxysulfuron- sodium*, Vinclozoline				

\* substances actives présentes dans les pesticides officiellement homologués au cours des campagnes cotonnières 2019-2020 ; 2020-2021 ; 2021-2022.



**Figure 2 :** ACP des résidus de pesticides et des périodes de récolte à Founougo.

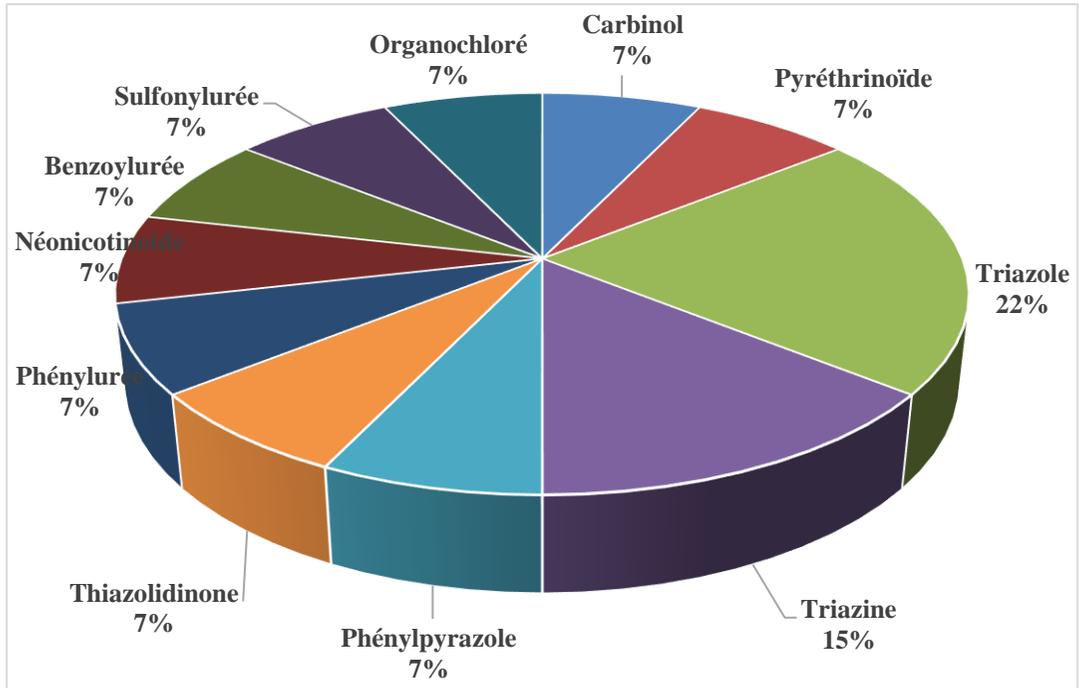


**Figure 3 :** ACP des résidus de pesticides et des périodes de récolte à Kérérou.

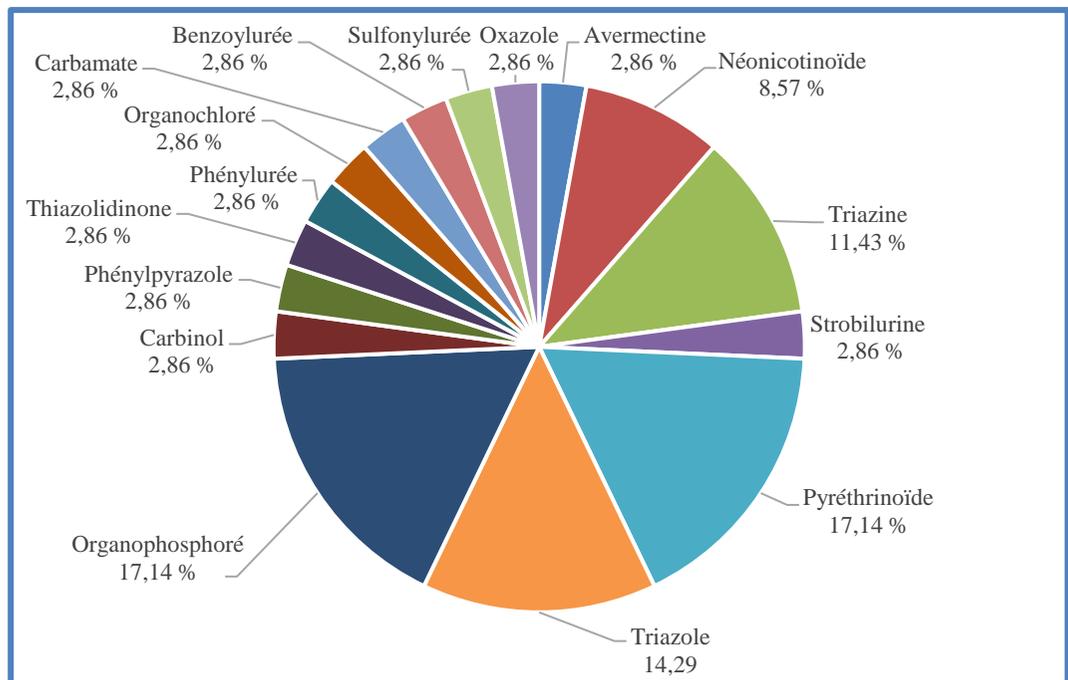
**Tableau 3 :** Familles chimiques, emploi et classification des résidus de pesticides détectés dans le miel de Kérérou et Founougo dans la Commune de Banikoara.

N°	MATIERES ACTIVES DETECTEES	CLASSES CHIMIQUES	TYPES D'EMPLO I	CLASSIFICATIO N OMS	MOIS DE RECOLTE
1	Abamectine	Avermectine	Insecticide	Ib	Novembre
2	Acetamipride	Néonicotinoïde	Insecticide	II	Novembre
3	Atrazine	Triazine	Herbicide	III	Novembre
4	Bifenthrine	Pyréthriñoïde	Insecticide	II	Novembre
5	Bitertanol	Triazole	Fongicide	U	Novembre
6	Bromopropylate	Carbinol	Acaricide	U	Mars/Novembre
7	Chlorfenvinphos	Organophosphoré	Insecticide	Ib	Novembre
8	Chlorpyrifos-éthyle	Organophosphoré	Insecticide	II	Novembre
9	Cyfluthrine	Pyréthriñoïde	Insecticide	Ib	Novembre
10	Cypermethrine	Pyréthriñoïde	Insecticide	II	Mars/Novembre
11	Cyproconazole	Triazole	Fongicide	II	Mars/Novembre
12	Deltaméthrine	Pyréthriñoïde	Insecticide	II	Novembre
13	Diazinon	Organophosphoré	Insecticide	II	Novembre
14	Difénoconazole	Triazole	Fongicide	II	Novembre
15	Fipronil	Phénylpyrazole	Insecticide	II	Mars/Novembre
16	Flubendiamide	Thiazolidinone	Insecticide	III	Mars/Novembre
17	Fluometuron	Phénylurée	Herbicide	U	Mars/Novembre
18	Glyphosate	Organophosphoré	Herbicide	III	Novembre
19	Hexaconazole	Triazole	Fongicide	III	Mars/Novembre
20	Imidacloprid	Néonicotinoïde	Insecticide	II	Mars/Novembre
21	Lambda-cyhalothrine	Pyréthriñoïde	Insecticide	II	Novembre
22	Lindane	Organochloré	Insecticide	II	Mars/Novembre
23	Penconazole	Triazole	Fongicide	III	Mars/Novembre
24	Perméthrine	Pyréthriñoïde	Insecticide	II	Novembre
25	Pirimicarbe	Carbamate	Insecticide	II	Novembre
26	Pirimiphos-méthyl	Organophosphoré	Insecticide	II	Novembre
27	Profénofos	Organophosphoré	Insecticide	II	Novembre
28	Prométryne	Triazine	Herbicide	III	Mars/Novembre
29	Teflubenzuron	Benzoylurée	Insecticide	U	Mars/Novembre
30	Terbutryne	Triazine	Herbicide	III	Mars/Novembre
31	Terbutylazine	Triazine	Herbicide	III	Novembre
32	Thiaméthoxame	Néonicotinoïde	Insecticide	II	Novembre
33	Trifloxystrobine	Strobilurine	Fongicide	U	Novembre
34	Trifloxysulfuron-sodium	Sulfonylurée	Herbicide	III	Mars/Novembre
35	Vinclozoline	Oxazole	Fongicide	U	Novembre

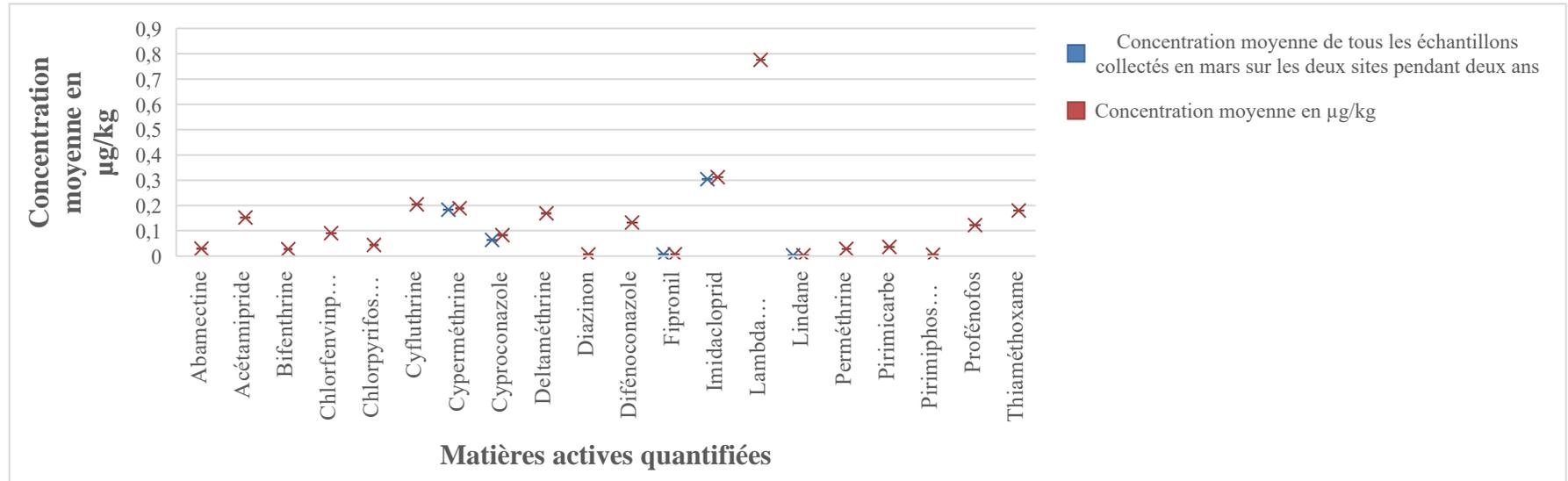
Ib : Très dangereux ; II : Modérément dangereux ; III : Légèrement dangereux ; U : Peu susceptible de présenter un danger aigu.



**Figure 4 :** Proportion de chaque famille chimique de pesticides retrouvés dans le miel récolté en mars (Commune de Banikoara).



**Figure 5 :** Proportion des familles chimiques de pesticides retrouvés dans le miel de novembre (Commune de Banikoara).



**Figure 6 :** Teneur moyenne en molécules dangereuses dans les échantillons des deux sites réunis pour les deux grandes périodes de récolte.

**Tableau 4 :** Concentration saisonnière (moyenne ± écart type) des matières actives de classes I et II dans les échantillons de miel des localités de Founougo et de Kérérou.

Matières actives	RESULTATS (µg/kg)							
	FOUNOUGO				KEREMOU			
	Mars 2021 et 2022		Novembre 2021 et 2022		Mars 2021 et 2022		Novembre 2021 et 2022	
	Moyenne ± écart type	Intervalle de concentration	Moyenne ± écart type	Intervalle de concentration	Moyenne ± écart type	Intervalle de concentration	Moyenne ± écart type	Intervalle de concentration
Abamectine	n.d	n.d	0,028 ± 0,002	0,025-0,03	n.d	n.d	0,030 ± 0,004	0,027-0,038
Acétamipride	n.d	n.d	0,151 ± 0,002	0,147-0,154	n.d	n.d	0,153 ± 0,003	0,15-0,16

Bifenthrine	n.d	n.d	0,027 ± 0,002	0,025-0,03	n.d	n.d	0,027 ± 0,003	0,022-0,03
Chlorfenvinphos	n.d	n.d	0,093 ± 0,020	0,06-0,13	n.d	n.d	0,089 ± 0,009	0,078-0,1
Chlorpyrifos-éthyl	n.d	n.d	0,047 ± 0,014	0,02-0,06	n.d	n.d	0,042 ± 0,004	0,04-0,05
Cyfluthrine	n.d	n.d	0,202 ± 0,037	0,119-0,222	n.d	n.d	0,206 ± 0,003	0,202-0,209
Cyperméthrine	0,185 ± 0,003	0,181-0,188	0,191 ± 0,009	0,18-0,21	0,184 ± 0,003	0,181-0,189	0,188 ± 0,001	0,186-0,19
Cyproconazole	0,062 ± 0,015	0,04-0,09	0,090 ± 0,015	0,07-0,11	0,067 ± 0,015	0,05-0,09	0,075 ± 0,024	0,03-0,11
Deltaméthrine	n.d	n.d	0,186 ± 0,004	0,182-0,193	n.d	n.d	0,153 ± 0,025	0,126-0,18
Diazinon	n.d	n.d	0,007 ± 0,002	0,004-0,011	n.d	n.d	0,006 ± 0,001	0,004-0,008
Difénoconazole	n.d	n.d	0,128 ± 0,002	0,125-0,13	n.d	n.d	0,136 ± 0,003	0,132-0,141
Fipronil	0,006 ± 0,001	0,005-0,009	0,008 ± 0,001	0,005-0,009	0,006 ± 0,001	0,005-0,008	0,007 ± 0,001	0,005-0,009
Imidacloprid	0,298 ± 0,011	0,29-0,32	0,312 ± 0,002	0,309-0,315	0,311 ± 0,003	0,307-0,317	0,312 ± 0,006	0,302-0,32
Lambda-cyhalothrine	n.d	n.d	0,773 ± 0,020	0,748-0,81	n.d	n.d	0,778 ± 0,002	0,776-0,782
Lindane	0,003 ± 0,001	0,002-0,005	0,003 ± 0,001	0,002-0,005	0,003 ± 0,001	0,002-0,004	0,004 ± 0,001	0,003-0,006
Perméthrine	n.d	n.d	0,026 ± 0,003	0,023-0,031	n.d	n.d	0,030 ± 0,006	0,02-0,04
Pirimicarbe	n.d	n.d	0,038 ± 0,002	0,033-0,04	n.d	n.d	0,035 ± 0,003	0,032-0,041
Pirimiphos-méthyl	n.d	n.d	0,005 ± 0,001	0,003-0,007	n.d	n.d	0,006 ± 0,003	0,002-0,009
Profénofos	n.d	n.d	0,115 ± 0,004	0,112-0,122	n.d	n.d	0,131 ± 0,015	0,12-0,16
Thiaméthoxame	n.d	n.d	0,202 ± 0,021	0,16-0,22	n.d	n.d	0,159 ± 0,014	0,138-0,175

n.d : non décelé

**Tableau 5 :** Valeurs calculées des DJE, des QRS et des ID des molécules dangereuses de classes I et II.

	Concentration moyenne la plus élevée des mesures (µg/kg)	Quantité moyenne de miel ingérée par un adulte (kg/j)	Quantité moyenne de miel ingérée par un enfant (kg/j)	Poids Corporel moyen d'un adulte (kg)	Poids Corporel moyen d'un enfant (kg)	DJA (Valeurs de référence du codex alimentarius en µg/kg/j.)	DJE d'un adulte (µg/kg/j)	DJE d'un enfant (µg/kg/j)	QRS d'un adulte	QRS d'un enfant
Abamectine	0,029					2,5	1,21E-05	1,24E-05	4,83E-06	4,97E-06
Acétamipride	0,152					70	6,33E-05	6,51E-05	9,05E-07	9,31E-07
Bifenthrine	0,027					15	1,13E-05	1,16E-05	7,50E-07	7,71E-07
Chlorfenvinphos	0,091					0,5	3,79E-05	3,90E-05	7,58E-05	7,80E-05
Chlorpyrifos-éthyl	0,044					1	1,83E-05	1,89E-05	1,83E-05	1,89E-05
Cyfluthrine	0,204					3	8,50E-05	8,74E-05	2,83E-05	2,91E-05
Cyperméthrine	0,189					50	7,88E-05	8,10E-05	1,58E-06	1,62E-06
Cyproconazole	0,083					20	3,46E-05	3,56E-05	1,73E-06	1,78E-06
Deltaméthrine	0,169					10	7,04E-05	7,24E-05	7,04E-06	7,24E-06
Diazinon	0,006	0,025	0,012	60	28	0,2	2,50E-06	2,57E-06	1,25E-05	1,29E-05
Difénoconazole	0,132					10	5,50E-05	5,66E-05	5,50E-06	5,66E-06
Fipronil	0,007					0,2	2,92E-06	3,00E-06	1,46E-05	1,50E-05
Imidacloprid	0,312					60	1,30E-04	1,34E-04	2,17E-06	2,23E-06
Lambda-cyhalothrine	0,776					2,5	3,23E-04	3,33E-04	1,29E-04	1,33E-04
Lindane	0,003					0,01	1,25E-06	1,29E-06	1,25E-04	1,29E-04
Perméthrine	0,028					50	1,17E-05	1,20E-05	2,33E-07	2,40E-07
Pirimicarbe	0,036					35	1,50E-05	1,54E-05	4,29E-07	4,41E-07
Pirimiphos-méthyl	0,005					4	2,08E-06	2,14E-06	5,21E-07	5,36E-07
Profénofos	0,123					30	5,13E-05	5,27E-05	1,71E-06	1,76E-06
Thiaméthoxame	0,18					26	7,50E-05	7,71E-05	2,88E-06	2,97E-06
<b>ΣQRS</b>									<b>4,34E-04</b>	<b>4,47E-04</b>

## DISCUSSION

L'analyse qualitative à travers les différents screening réalisés ont révélé que le miel quels que soient le lieu (rucher le plus proche ou le plus éloigné d'un champ de coton) et la période (mars ou novembre) de son prélèvement contenait des molécules de pesticides chimiques de synthèse.

La présence de résidus de pesticides dans le miel prélevé du rucher le plus éloigné d'une exploitation cotonnière (rucher situé à Kérérou) peut s'expliquer d'une part par le fait que les pesticides chimiques de synthèse sont utilisés non plus pour la seule culture de coton conventionnel mais aussi pour les produits vivriers et les cultures maraîchères qui jouxtent ce rucher et bien d'autres dans la Commune (FAO, 2010). Certains intrants chimiques du coton conventionnel étaient détournés au profit des vivriers en dépit de tous les garde-fous mis en place (Sossou et al., 2022). D'autre part faut-il le rappeler, la distance séparant ledit rucher du périmètre cotonnier le plus lointain est d'environ 3 km. Or, il est possible aux ouvrières surtout en période de rareté de miellée, d'effectuer des vols sur une distance plus grande en vue de la collecte du nectar et d'autres produits comme le pollen en l'occurrence. D'après Mitchell et al. (2017), les abeilles possèdent un rayon de butinage d'au moins 4 km autour de leur ruche. Ainsi, les pesticides détectés dans une ruche ne reflètent pas forcément les pesticides appliqués dans leur environnement le plus proche. Elles peuvent donc ramener à la ruche du pollen ou du nectar contaminés bien loin du rucher. Par ailleurs, la dérive des gouttelettes de pesticides provenant des innombrables traitements des cotonniers ou des vivriers (au mépris des normes techniques) aux alentours du rucher peuvent contaminer la cire très lipophile et par conséquent le miel. Quels que soient l'appareil de traitement (pulvérisateur à dos et canne centrifuge étaient les deux rencontrés dans la Commune) ou la méthode utilisé(e) pour l'application des produits phytopharmaceutiques en vue de protéger les cultures, des pertes vers le milieu naturel ou d'autres espaces non visés, telles que les cultures adjacentes, les ruches, seront présentes

en plus ou moins grande importance (Gouda et al., 2018). Le transport des gouttelettes loin des cibles est provoqué par les mouvements d'air (Al Heidary et al., 2014). Briand et al. (2001) estiment que les pertes de bouillie par dérive peuvent représenter de 1% à 30% de la quantité pulvérisée selon les circonstances d'application (volume de bouillie/ha, appareil mis en œuvre, type de buse, conditions climatiques, etc.).

Les résidus de pesticides retrouvés dans les miels prélevés en novembre (petite récolte) semblent normaux parce qu'il s'agit de la production qui coïncide avec la campagne cotonnière, période de grande consommation d'intrants chimiques de synthèse qui peuvent contaminer par contact ou par voie systémique les abeilles, la cire, la gelée royale, le pain de sucre et le miel même. Par contre la présence des molécules actives de pesticides dans les récoltes de mars paraît un peu anormale parce que d'une part les pesticides chimiques officiellement homologués actuellement pour la production cotonnière étaient rapidement dégradables et disparaissaient vite de l'environnement et d'autre part le mois de mars n'est pas un mois pluvieux au Bénin donc n'est pas un mois de production cotonnière encore moins de cultures vivrières ou maraîchères. Cependant, Banikoara à l'instar des huit autres Communes du département de l'Alibori est une zone de forte production maraîchère de contre saison (fruits et légumes surtout les légumes feuilles) dans les nombreux bas-fonds aménagés ou avec l'eau des barrages. Pour lutter contre les ravageurs des légumes feuilles et des fruits des cultures maraîchères, les producteurs maraîchers utilisent aussi bien des pesticides organiques que chimiques (Diogo et Tama, 2019). Ces pesticides chimiques de synthèse utilisés à tour de bras peuvent aisément se retrouver dans les miels récoltés en mars. Il est également possible de lier la présence des quatorze substances actives dans le miel de mars à la rémanence de ces molécules dans l'environnement. Leur demi-vie indicative qui varie d'un pesticide à un autre entre 42 et 500 jours peut être plus longue en fonction de nombreux facteurs tels que la texture du sol, la présence de matière

organique, le pH, l'incidence des rayons UV, la température et la teneur en eau du sol. Ainsi, les températures froides du sol sont associées à des demi-vies plus élevées (Main et al., 2014). De même, des conditions sèches ou les sols argileux et argilo-sablonneux comme ceux le plus rencontrés à Banikoara ont été associées à une demi-vie significativement plus longue (Adam et al., 2010). Les molécules ainsi présentes dans le sol peuvent pénétrer dans la plante et se retrouver dans le nectar par absorption racinaire : c'est la contamination par voie systémique (Pohorecka et al., 2012). Ce transfert sol-plante dépend principalement des propriétés physico-chimiques des pesticides, en particulier la lipophilie, de la composition du sol et de ses propriétés physico-chimiques (Létondor, 2014). L'utilisation fréquente puis en quantité des pesticides comme c'est le cas à Banikoara et une absorption racinaire importante peuvent expliquer la présence des molécules dans le miel en général et celui de mars en particulier. Toujours d'un point de vue qualitatif, le plus grand nombre de molécules décelées dans l'un des vingt-quatre prélèvements de miel de 2021 à 2022 était de trente-cinq. Ces molécules appartenaient à seize classes chimiques dont quatre étaient plus représentatives : organophosphorés, triazoles, pyréthriinoïdes et triazines. Ce résultat, sous l'angle de la présence de résidus de pesticides dans le miel concorde avec bien d'autres études conduites en Afrique ou ailleurs dans le monde (Amulen et al., 2017 ; Zarrouk, 2020).

### Conclusion

L'objectif de l'étude était d'évaluer les risques sanitaires liés à l'ingestion du miel produit dans la Commune cotonnière de Banikoara. Le miel de la petite récolte qui a fait immédiatement suite à la campagne cotonnière renfermait plus de résidus de pesticides que celui de la grande miellée en mars. Néanmoins, le quotient de risque sanitaire et l'indice de danger étaient inférieurs à 1. Ce qui signifiait que la consommation de ce miel était pour l'instant exempte de danger. Toutefois des mesures doivent être prises pour la surveillance permanente de sa qualité sous tous les plans.

### CONFLIT D'INTÉRÊTS

Les auteurs de ce manuscrit déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

### CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

YAHK : conception et financement du projet, collecte et traitement des données puis rédaction du manuscrit. EYAP : validation et supervision du projet, relecture des manuscrits pour l'amélioration de sa qualité scientifique.

### REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient sincèrement les apiculteurs de la Commune de Banikoara en général et en particulier ceux chez qui les échantillons de miel sont prélevés pour leur disponibilité et leur collaboration à la réalisation de la présente recherche.

### REFERENCES

- Adam S, Edoth A, Totin H, Koumolou L, Aklikokou K. 2010. Pesticides et Métaux Lourds dans l'Eau de Boisson, les Sols et les Sédiments de la Ceinture Cotonnière de Gogounou, Kandi et Banikoara (Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(4): 1170-1179. DOI: 10.4314/ijbcs.v4i4.63054
- Agbohessi T, Toko I, Yabi A, Dassoundo-Assogba C, Kestemont P. 2011. Caractérisation des Pesticides Chimiques Utilisés en Production Cotonnière et Impact sur les Indicateurs Economiques dans la Commune de Banikoara au nord du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(5): 1828-1841. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.6>
- Ahouandjinou STB, Yédomonhan H, Adomou AC, Tossou MG, Akoegninou A. 2016. Caractéristiques techniques et importance socio-économique de l'apiculture au Nord-Ouest du Bénin : Cas de la commune de Coby. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **10**(3): 1350. DOI: <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3.35>
- Heidary MH, Douzals JP, Sinfort C, Vallet A. 2014. Influence des Caractéristiques de Pulvérisation sur la Dérive Potentielle de Pulvérisation des Pulvérisateurs pour

- Grandes Cultures : une Revue de la Littérature. *Protection des cultures*, **63**: 120-130. URL : <https://agris.fao.org/search/en/providers/122439/records/64e5fadff8d9ea1acc270b1b>
- Amulen DR, Spanoghe P, Houbraken M, Tamale A, de Graaf DC, Cross P, Smagghe G. 2017. Environmental Contaminants of Honeybee Products in Uganda detected using LC-MS/MS and GC-ECD. *PloSone* **12**(6): e0178546. URL : <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0178546&type=printable>
- ASTEE (Association Scientifique et Technique de l'Eau et de l'Environnement). 2003. Guide pour l'évaluation du risque sanitaire dans le cadre de l'étude d'impact d'une UIOM, p. 60.
- Briand O, Bertrand F, Seux R, Millet M. 2001. Comparison of Different Sampling Techniques for the Evaluation of Pesticide Drift in Apple Orchards. *Sci. Total Environ.*, **288**: 199-213. DOI : [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00961-5](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00961-5)
- Carrizales L, Razo I, Téllez-Hernández JI, Torres-Nerio R, Torres A, Batres LE, Cubillas AC, Díaz-Barriga F. 2006. Exposure to Arsenic and Lead of Children living near a Copper-smelter in San Luis Potosi, Mexico: Importance of Soil Contamination For Exposure of Children. *Environmental research*, **101**(1): 1-10. URL : <https://www.academia.edu/download/50092077/j.envres.2005.07.01020161103-6057-1n2vx6f.pdf>
- Diogo RVC, Tama BTC. 2019. Production maraîchère à Banikoara au Nord Bénin : Acteurs et pratiques pour la durabilité du système de production. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.*, **9**(1): 133-140. URL : <https://pdfs.semanticscholar.org/3bd0/5bfef60a901dcbf3add32078ab9738d44bda.pdf>
- Djossou JA, Tchobo FP, Yédomonhan H, Alitonou AG, Soumanou MM. 2013. Evaluation des Caractéristiques Physicochimiques des Miels Commercialisés à Cotonou. *Tropicicultura*, **31**(3): 163-169. URL : <http://www.tropicultura.org/text/v31n3/163.pdf>
- FAO. 2010. Produits Forestiers Non Ligneux, le rôle des Abeilles dans le Développement rural. Manuel sur la récolte, la Transformation et la Commercialisation des Produits et Services dérivés des Abeilles. p. 238. URL: <http://www.fao.org/docrep/013/i0842f/i0842f00.pdf>
- Gouda AI, Toko II, Salami SD, Richert M, Scippo ML, Kestemont P, Schiffers B. 2018. Pratiques Phytosanitaires et niveau d'Exposition aux Pesticides des Producteurs de Coton du Nord du Bénin. *Cahiers Agricultures*, **27**(6): 65002. URL : <https://researchportal.unamur.be/files/39854543/2018>
- INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique). 2002. Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH 3) au Bénin (2nd édn). Presse Locale : Cotonou.
- INSAE (Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique). 2020. Document de travail N°DSEE2020DT02, Version révisée de la monographie de la filière du coton au Bénin, p. 54.
- Kindji YAH. 2016. Détermination des résidus de pesticides dans le miel produit dans la commune de Banikoara et leurs risques potentiels pour les consommateurs. Mémoire de Master Intégration Régionale et Développement, Option Gestion des Risques et Catastrophes, Université d'Abomey Calavi, p. 89.
- Létondor C. 2014. Étude des mécanismes histologiques et physiologiques du transfert de la chlordécone (insecticide organochloré) dans les végétaux. Thèse de doctorat, École doctorale Sciences de l'univers, de l'environnement et de l'espace, Université de Toulouse, Toulouse, p. 168.
- MAEP (Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche). 2014. Politique Phytosanitaire en République du Bénin, p. 56.
- MAEP (Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche). 2021. Direction de la Statistique Agricole, Recensement National de l'Agriculture, Volume 4, Synthèse des Principaux Résultats, p. 24.

- Main AR, Headley JV, Peru KM, Michel NL, Cessna AJ, Morrissey CA. 2014. Widespread use and frequent detection of neonicotinoid insecticides in wetlands of Canada's Prairie Pothole Region. *PLoS One*, **9**(3): e92821. URL : <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0092821&type=printable>
- Mitchell EAD, Mulhauser B, Mulot M, Mutabazi A, Glauser G, Aebi A. 2017. A Worldwide Survey of Neonicotinoids in Honey. *Science* **358**(6359): 109-111. DOI : <https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/science.aan3684>
- OMS. 2019. Classification OMS recommandée des pesticides en fonction des dangers qu'ils présentent et lignes directrices pour la classification, édition 2019. Genève : Organisation mondiale de la Santé ; 2020. Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Paraïso A, Viniwanou N, Akossou AYJ., Mensah GA, Abiola W. 2011. Caractérisation Morphométrique de l'abeille *Apis mellifera* adansonii au Nord-Est du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **5**(1): 331-344. DOI: 10.4314/ijbcs.v5i1.68109
- Paraïso A, Sossou A, Iz-Haquou D, Yegbemey RN, Sanni A. 2012b. Perceptions and Adaptations of Beekeepers and Honey Hunters to Climate Change: The Case of the Communes of Natitingou and Tanguieta in Northwest of Benin. *African Crop Science Journal*, **20**(2): 523-532. URL: <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/47613/1/cs12065.pdf>
- Paraïso AA. 2015. Apiculture et Production du Miel au Nord et au Centre du Bénin. Communication présentée au 2ème Colloque de l'Université de Parakou.
- Pelebe ROE, Ouattara IN, Attakpa EY, Dimon Yai BW, Dassoundo-Assogba JCF, Imorou Toko I, Montchouwi EH. 2019. Caractérisation de l'état actuel et des modes d'exploitation des retenues d'eau au Bénin. *Ann. UP, Série Sci. Nat. Agron.*, **9**(2): 1-14. URL : <https://sna.fau-up.bj/ojs/index.php/sna/article/download/50/24>
- Pohorecka K, Skubida P, Miszczak A, Semkiw P, Sikorski P, Zagibajło K, Teper D, Kołtowski Z, Skubida M, Zdańska D, Bober A. 2012. Residues of Neonicotinoid Insecticides in Bee Collected Plant Materials from Oilseed Rape Crops and their Effect on Bee Colonies. *Journal of Apicultural Science*, **56**: 115-134. URL : <https://sciendo.com/pdf/10.2478/v10289-012-0029-3>
- Sossou R, Hinnou L C, Alidou G M. 2022. Recours aux Circuits Parallèles pour l'accès aux Services Agricoles dans la Riziculture au Centre du Bénin. *Afrique Science : revue internationale des sciences et technologies*, URL: hal-03834146.
- U.S. EPA. 2015. Supplementary guidance for conducting health risk assessment of chemical mixtures. Risk Assessment Forum Technical Panel; Washington, DC: US.EPA.
- Yédomonhan H, Akoègninou A. 2009. La production de miel à Manigri (Commune de Bassila) au Bénin : enjeu et importance socio-économique. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **3**(1): 125-134. DOI : 10.4314/ijbcs.v3i1.42743
- Yédomonhan H, Tossou MG, Akoègninou A, Déménou BB, Traoré D. 2009. Diversité des Plantes Mellifères de la zone Soudano-guinéenne : cas de l'arrondissement de Manigri (Centre-Ouest du Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **3**(2): 355-366. DOI: 10.4314/ijbcs.v3i2.44514
- Yo T, Adanguidi J, Aoudji A. 2017. Analyse de la performance des chaînes de valeur miel au Bénin, p. 98.
- Zarrouk E. 2020. Détection et Dosage de Pesticides dans des produits apicoles. Thèse d'exercice pour le diplôme d'État de docteur en Pharmacie, Université de Limoges, p. 55.