

SANTÉ
ENVIRONNEMENT

FÉVRIER 2019

ÉTUDES ET ENQUÊTES

ÉVALUATION DES EXPOSITIONS
PROFESSIONNELLES AUX PESTICIDES
UTILISÉS DANS LA CULTURE DE LA CANNE
À SUCRE À L'ÎLE DE LA RÉUNION
ET DE LEURS EFFETS SANITAIRES

Projet Matphyto DOM

Résumé

L'évaluation rétrospective des expositions aux pesticides des travailleurs agricoles est une démarche nécessaire pour comprendre et établir des liens entre leurs activités professionnelles tout le long de leur carrière et la survenue de potentielles pathologies telles que les cancers ou les maladies neurodégénératives. Les données fiables, produites par une méthode précise et structurée pour dresser l'historique des expositions professionnelles, sont peu nombreux.

La canne à sucre, la culture agricole la plus répandue à La Réunion, emploie de nombreux produits phytopharmaceutiques (PPP) auxquels sont exposés les travailleurs agricoles. Aucune étude jusqu'alors n'a permis d'identifier le nombre de ces travailleurs, les PPP auxquels ils sont et/ou ont été exposés au cours du temps ni les éventuels effets sur la santé susceptibles de se produire face à cette exposition.

Nous avons utilisé trois bases de données dont deux construites par Santé publique France pour répondre à la question : quels sont les PPP qui ont été appliqués sur la canne à sucre au cours des dernières décennies à l'île de La Réunion, quels sont leurs effets sanitaires et quelles sont les caractéristiques de la population de travailleurs agricoles concernés ?

La première base est une matrice culture-exposition (MCE) spécifique à la culture de la canne à sucre à La Réunion grâce à laquelle nous avons identifié l'ensemble des PPP utilisés sur cette culture depuis les années 1960 ainsi que la fréquence et la probabilité de leur usage. La seconde source de données est la base CipaTox ; elle a été établie pour recenser les effets sanitaires de l'ensemble des substances actives (SA) des PPP homologués en France depuis 1961, et un focus a été fait sur la cancérogénicité, la mutagénicité et la reprotoxicité (CMR) ainsi que la perturbation endocrinienne (PE). Enfin, la troisième source est constituée par les recensements agricoles (RA) de 1981, 1989, 2000 et 2010 qui ont permis d'identifier les caractéristiques sociodémographiques des travailleurs de la canne à sucre à La Réunion. En croisant ces trois sources de données nous avons calculé des prévalences d'exposition professionnelle sur les quatre années du RA aux PPP utilisés sur la canne à sucre à La Réunion et identifié les effets sanitaires qu'ils peuvent engendrer.

Nos travaux montrent qu'en 1981, 1989, 2000 et 2010, 25 substances actives différentes ont été utilisées sur la canne à sucre dont 19 herbicides, 3 insecticides, 2 rodenticides et 1 fongicide. Les principales molécules sont le 2,4-D, l'amétryne, l'atrazine, Beauveria tenella 96, le chlorpyrifos-éthyl, le diuron et le glyphosate. Entre 44 % (1981) et 88 % (2010) des travailleurs de la canne à sucre à La Réunion, dont le nombre est passé de 16 777 (1981) à 7 194 (2010) individus, ont été exposés à au moins une substance toxique pour la santé humaine et considérée comme CMR ou PE.

Ces travaux permettent de guider la prévention vis-à-vis des professionnels de l'agriculture en identifiant les pesticides pouvant avoir des effets néfastes sur leur santé. Ils incitent à mettre en œuvre plusieurs actions dont la sensibilisation des travailleurs agricoles au risque chimique induit par l'usage des pesticides, la promotion de méthodes alternatives de production de la canne à sucre, la limitation de l'usage des PPP, la circonscription de l'utilisation des PPP dont la substance active est CMR ou PE, le port d'équipements de protection individuelle en conformité avec les conditions climatiques de la région, enfin, l'information et la formation des médecins généralistes et la médecine du travail pour faciliter la reconnaissance en maladies professionnelles.

MOTS CLÉS : PESTICIDES ; EXPOSITION PROFESSIONNELLE ; AGRICULTURE ;
CANNE À SUCRE ; LA RÉUNION

Abstract

To establish links between agricultural workers activities throughout career and the potential occurrence of serious disease such as cancer or neurodegenerative diseases, retrospective pesticide exposures assessment is need. However, reliable database and methods are scarce in France.

Sugarcane is the most important crop in Reunion Island in terms of cultivated area and many phytosanitary products (PPPs) are used to protect it. In consequence, agricultural workers are potentially exposed to these pesticides. However, no studies have yet conducted to estimate the number of these workers, to characterize their PPPs exposure over time, or to identify the health effects related to these exposures.

We used three database (2 from Santé publique France, and 1 from the Ministry of agriculture) to answer the following questions: what are the pesticides used on sugarcane over the past 50 years, what are their effects on human health and what are the socio-demographic characteristics of the exposed farm population ?

The first database is a specific crop-exposure matrix (CEM) for sugarcane in Reunion Island. We have identified all the PPPs used on this crop since the 1960s. For each PPP, 3 quantitative indicators are indicated: the probability, the frequency and the intensity. The second one is the CipaTox database. It list of the main health effects known or suspected to be associated with chronic exposure to all of each PPP registered in France since 1961. For this study, we focus on four health effects as carcinogenicity, mutagenicity and reproductive toxicity (CMR) as well as the potential effects of endocrine disruption (ED). To identify socio-demographic characteristics of sugarcane workers in the Reunion Island, we used a third database: the agricultural censuses (AC) of 1981, 1989, 2000 and 2010. By merging this three database, we calculated prevalences of exposure for each PPP used, for each years of the AC and we identified the health effects they can cause. Our results show that, in 1981, 1989, 2000 and 2010, 25 active substances have been used on sugarcane: 19 herbicides, 3 insecticides, 2 rodenticides and 1 fungicide. The main substances are: 2,4-D, ametryn, atrazin, Beauveriatenella 96, chlorpyrifos-ethyl, diuron and glyphosate. The total number of sugarcane workers has increased from 16,777 (1981) to 7,194 (2010). Between 44 % (1981) and 88 % (2010) of sugarcane workers in Reunion Island are exposed to at least one CMR or ED active substance.

Our study helps to guide prevention towards agricultural workers by identified active substances with human health effect. We recommend: to promote alternative methods of sugarcane production by limiting the use of PPPs, to circumscribe the use of PPPs whose active substance is CMR or ED, to create individual protected equipment adapted to the weather conditions, to make workers aware of health risks of chemical origin through prevention campaigns, and finally to enlighten and train more general practitioners and occupational physicians to facilitate recognition of occupational diseases.

KEY WORDS: PESTICIDES; PROFESSIONAL EXPOSITION; AGRICULTURE;
SUGAR CANE; LA RÉUNION

Auteurs

Johan Spinosi¹, Lisa Cahour², Matthieu Gouy³, Laura Chaperon¹, Mounia El Yamani³

1. Santé publique France, direction santé travail, équipe associée à l'Umrestte (Unité mixte de recherche épidémiologique et de surveillance transport, travail, environnement; Université Claude Bernard Lyon 1 et Ifsttar, Lyon France), Saint-Maurice, France

2. Santé publique France, direction appui, traitements et analyses des données, Saint-Maurice, France

3. Santé publique France, direction santé travail, Saint-Maurice, France

Remerciements

Cette étude a été menée grâce à la participation de nombreux organismes du secteur privé et public, et également des agriculteurs de La Réunion. Nous les remercions pour leur appui, collaboration et validation des données.

Ce projet a utilisé des données en accédant au CASD (Centre d'accès sécurisé aux données). Le CASD a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence nationale de la recherche au titre du programme « Investissements d'avenir » portant la référence ANR-10-EQPX-17 (Centre d'accès sécurisé aux données – CASD).

Ce projet a été financé dans le cadre du plan Ecophyto, axe « Santé et protection des utilisateurs ». Cet axe est piloté par le ministère chargé de l'agriculture, avec l'appui financier de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques, par les crédits issus de la redevance pour pollutions diffuses attribués au financement du plan Ecophyto.

Abréviations

Anses	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOC	Appellation d'origine contrôlée
BDD	Base de données
CASD	Centre d'accès sécurisé aux données
Cipa	Compilation des index Acta
CipaTox	Volet toxicologique de Cipa
Circ	Centre international de recherche sur le cancer
CLP	Classification, Labelling, Packaging
CMR	Cancérogène, mutagène, reprotoxique
Cuma	Coopérative d'utilisation de matériel agricole
EA	Exploitation agricole
ECHA	Agence européenne des substances chimiques
EPI	Équipement de protection individuelle
ETA	Entreprises de travaux agricoles
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FDGDON	Fédération départementale des groupements de défense contre les organismes nuisibles
INMA	Institut national de médecine agricole
INRS	Institut national de recherche et de sécurité
MCE	Matrice culture-exposition
MOF	Main d'œuvre familiale
MOO	Main d'œuvre occasionnelle
MOS	Main d'œuvre salariée
OEHHA	California Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS	Organisation mondiale de la santé
PE	Perturbateur endocrinien
PPP	Produit phytopharmaceutique
RA	Recensement agricole
RIVM-Pays-Bas	Institut national néerlandais pour la santé publique et l'environnement
SA	Substance active
UE	Union européenne
USA-ATSDR	Agency for toxic substances and disease registry
US-EPA	Agence américaine de protection de l'environnement
VTR	Valeur toxicologique de référence

Sommaire

1. INTRODUCTION	6
2. MÉTHODE	7
2.1 La population d'étude : utilisation des données populationnelles du recensement agricole	7
2.2 L'évaluation des expositions aux produits phytopharmaceutiques : la matrice culture-exposition canne à sucre	8
2.3 L'évaluation des effets sanitaires connus ou suspectés d'être liés à une exposition chronique aux PPP : utilisation des données de la base CipaTox	8
2.3.1 Effets cancérogènes	9
2.3.2. Effets mutagènes-génotoxiques et reprotoxiques.....	10
2.3.3. Effets de perturbation endocrinienne.....	11
2.4 Calculs des prévalences d'exposition (taux de prévalence et effectifs)	12
3. RÉSULTATS	13
3.1 Les caractéristiques des exploitations, de la main d'œuvre familiale et de la main d'œuvre salariée des exploitations de canne à sucre.....	13
3.2 Les expositions aux produits phytopharmaceutiques dans les exploitations de canne à sucre à La Réunion : la MCE canne à sucre.....	17
3.2.1 Les traitements herbicides	18
3.2.2 Les traitements insecticides	21
3.2.3 Les traitements rodenticides	22
3.3 Identification des effets toxiques des substances actives utilisées	23
3.3.1 Effets sanitaires des substances actives utilisées sur la canne à sucre lors des quatre recensements agricoles	23
3.3.2 Focus sur le recensement agricole de 2010.....	26
4. SYNTHÈSE DES EXPOSITIONS ET DES RISQUES SANITAIRES ASSOCIÉS	28
4.1. Principaux résultats sur l'exposition des travailleurs de la canne à sucre en 1981, 1989, 2000 et 2010.....	28
5. DISCUSSION - CONCLUSION	31
Références bibliographiques.....	36

1. INTRODUCTION

Importée vers La Réunion au cours du XVIII^e siècle, la culture de la canne à sucre occupe aujourd'hui plus de 24 000 hectares soit plus de la moitié de la surface agricole utile de l'île. Cette plante trouve sur place les conditions climatiques tropicales (chaleur et humidité) propices à son développement (1).

Aujourd'hui, La Réunion est le principal producteur européen de sucre de canne, 1 900 000 tonnes de cannes sont récoltées chaque année (2).

Les conditions de culture en milieu tropical sont généralement favorables au développement des mauvaises herbes et la canne à sucre est particulièrement vulnérable à l'enherbement pendant les premiers mois de sa culture. Les pertes de rendement peuvent atteindre 400 à 500 kg par hectare et par jour de concurrence avec les mauvaises herbes (3). Toutes ces raisons font que les principaux produits phytopharmaceutiques (PPP) utilisés sur la canne à sucre à La Réunion sont des désherbants. Par ailleurs, la canne à sucre constitue, en quantité, la principale culture agricole utilisatrice de PPP dans l'île (1).

À notre connaissance, aucune étude épidémiologique n'a été menée à La Réunion pour connaître l'état de santé des agriculteurs de la canne à sucre en lien avec une possible exposition aux PPP. Une revue bibliographique de 1991 (4) retrace au niveau international, un ensemble de maladies à caractère professionnel des agriculteurs de la canne à sucre. Cette étude, qui considère principalement des travailleurs situés dans des pays en développement, mentionne une exposition importante aux herbicides toutes familles chimiques confondues. Elle mentionne également un risque accru de tumeurs malignes pulmonaires dans cette catégorie de travailleurs agricoles. Dans le sud de la Louisiane, aux États-Unis, où la canne à sucre a été l'industrie prédominante dans les années 1930, une surmortalité par cancer de poumon a été montrée chez les travailleurs de la canne à sucre, avec un risque relatif observé de 2,4 (IC à 95% de 1,7 à 3,6) après ajustement sur le tabagisme.

L'objectif de notre travail est d'évaluer rétrospectivement l'exposition aux PPP des travailleurs de la canne à sucre à La Réunion, de dénombrer et caractériser la population exposée et d'identifier les possibles effets sanitaires susceptibles de survenir à la suite de cette exposition. La finalité de ce travail est de guider la prévention des risques chimiques en agriculture.

2. MÉTHODE

Notre méthode permettant d'évaluer l'exposition et les risques sanitaires associés à l'utilisation de PPP consiste à croiser plusieurs bases de données (BDD) que nous avons élaborées et/ou utilisées. Pour identifier les travailleurs de la canne à sucre, nous avons exploité les recensements agricoles (RA) réalisés par le ministère de l'agriculture. Pour décrire les expositions aux PPP, nous avons développé une matrice culture exposition (MCE) spécifique à la culture de la canne à sucre à La Réunion et enfin nous avons construit puis utilisé la base CipaTox pour décrire les effets sanitaires de toutes les SA. Ces trois bases sont décrites plus finement ci-dessous.

2.1 La population d'étude : utilisation des données populationnelles du recensement agricole

Nous invitons le lecteur à consulter la note détaillant le recensement agricole dans les Dom (5).

Le recensement agricole (RA), qui est spécifiquement consacré aux exploitations agricoles en France, à leur main d'œuvre et à leur assolement (cultures agricoles), est une enquête décennale mise en œuvre par le ministère chargé de l'agriculture pour connaître la structure des exploitations agricoles françaises. C'est un recensement exhaustif et obligatoire pour toutes les exploitations agricoles répondant à certains critères : avoir une activité agricole, atteindre ou dépasser une certaine superficie cultivée, de nombre d'animaux ou de production, être soumise à une gestion courante indépendante, etc. Toutes les tailles d'exploitations sont recensées, même les plus petites tant qu'elles répondent aux critères ci-dessus. L'unité statistique de ce recensement est l'exploitation agricole. Le recensement est déclaratif et repose sur l'interrogation du chef d'exploitation.

Le recensement agricole, mis en place depuis 1973 à La Réunion, renseigne toute exploitation agricole déclarant produire plus de 1 000 m² de canne à sucre. Les données des RA de 1981, 1989, 2000 et 2010 sont informatisées et disponibles par le Centre d'accès sécurisé aux données (CASD). Le RA de 1973 n'a pas été informatisé et de ce fait a été exclu de nos analyses.

Les principales données recueillies sont : les cultures et superficies cultivées, l'élevage et le cheptel, l'équipement des exploitations, la diversification des activités (tourisme vert, etc.), la commercialisation des produits (AOC, vente directe etc.), l'emploi (salarial, emploi familial etc.), le niveau de formation de la main d'œuvre familiale, et la gestion de l'exploitation.

Le recensement décrit également les personnes vivant et/ou travaillant sur l'exploitation à travers quatre sous-populations : la main d'œuvre familiale (MOF), la main d'œuvre salariée non familiale (MOS), la main d'œuvre occasionnelle (MOO) et la main d'œuvre appartenant au personnel d'entreprise de travaux agricoles (ETA) ou de Coopérative d'utilisation du matériel agricole (Cuma). Il est à noter que la qualité des données sociodémographiques de ces différentes sous-populations est très hétérogène entre le premier recensement informatisé de 1981 et celui de 2010. Nous n'avons pris en compte que la main d'œuvre permanente, soit la MOF et la MOS. La MOO, et la main d'œuvre appartenant au personnel d'ETA ou de Cuma, n'ont pas été considérées en raison d'un grand manque d'informations sur ces populations dans les RA (comptabilisation en jours et non en personnes dans la plupart des RA).

2.2 L'évaluation des expositions aux produits phytopharmaceutiques : la matrice culture-exposition canne à sucre

Nous invitons le lecteur à consulter le document présentant la méthode générale des matrices cultures-expositions (6), ainsi que le guide technique présentant la MCE canne à sucre à La Réunion (7).

Les MCE permettent d'évaluer rétrospectivement les expositions aux PPP à partir de la simple connaissance de la culture agricole sur laquelle les individus ont travaillé. Elles pallient ainsi la difficulté des personnes à se remémorer l'ensemble des PPP qu'ils ont pu utiliser au cours du temps. Elles permettent de calculer des indicateurs d'expositions professionnelles à partir de grandes bases de données populationnelles. La MCE canne à sucre a exigé un important travail de recherche bibliographique (y compris de littérature grise), et un temps d'échanges avec de nombreux partenaires locaux et spécialistes de la production cannière.

La MCE canne à sucre détaille les usages des PPP en listant les grands groupes de produits (herbicides, insecticides, rodenticides), les familles chimiques (aryloxy-acides, urées substituées, etc.) et les SA (2,4-D, diuron, etc.). Pour les deux zones géographiques délimitées (la zone Est ou côte au vent, plus humide, et la zone Ouest ou côte sous le vent, plus sèche), pour chaque période chronologique et pour chaque SA, des indicateurs d'exposition (probabilité, fréquence et intensité d'utilisation) ont été quantifiés. La probabilité d'utilisation correspond à la proportion annuelle des exploitations sur lesquelles a pu être utilisée une famille chimique ou une SA ; il s'agit du rapport entre le nombre d'exploitations de canne à sucre ayant utilisé au cours de l'année la SA et le nombre total d'exploitations de canne à sucre. La fréquence d'utilisation permet de caractériser le nombre moyen de traitements effectués chaque année sur la canne pour la famille chimique ou la SA considérée. L'intensité d'utilisation indique la masse moyenne de SA appliquée à l'hectare en un traitement ; elle est exprimée en grammes de SA par hectare. Cet indicateur d'intensité est déterminé de manière théorique à partir des doses homologuées ou à partir de données récoltées dans les exploitations mais avec une forte imprécision. Seules la probabilité et la fréquence d'utilisation sont étudiées dans ce document, l'intensité ayant été écartée de l'analyse.

La MCE canne à sucre s'intéresse aux usages des herbicides (principal poste de traitement phytopharmaceutique), des insecticides (ver blanc) et des rodenticides (rats). Les fongicides (en traitement des boutures avant plantation) n'ont été utilisés que de manière marginale de 1972 à 1982 (en utilisant du bénomyl).

2.3 L'évaluation des effets sanitaires connus ou suspectés d'être liés à une exposition chronique aux PPP : utilisation des données de la base CipaTox

Nous invitons le lecteur à consulter le document présentant la méthode de réalisation de la base Cipa (8) ainsi que le mémoire d'étude sur la caractérisation d'effets toxicologique des produits phytopharmaceutiques (9).

Afin d'identifier les effets sanitaires des PPP répandus sur la canne à sucre dans la population professionnelle agricole exposée, les BDD Cipa (Compilation des Index phytosanitaires Acta) et son volet toxicologique (CipaTox), élaborées toutes deux par Santé publique France, ont été utilisées comme référence. Cipa¹ (10) est une compilation de tous les index phytosanitaires Acta publiés depuis 1961 ; y sont renseignées toutes les SA phytopharmaceutiques homologuées en France depuis cette date. CipaTox, a été élaborée dans l'objectif de documenter pour chaque PPP homologué en France depuis 1961 les effets connus ou suspectés qu'il produit sur la santé humaine.

1. <http://matphyto.acta-informatique.fr/Accueil>

La méthode retenue pour constituer la BDD CipaTox repose sur une recherche documentaire pour chaque SA afin d'identifier une « valeur toxicologique de référence » (VTR). La VTR est un indice toxicologique qui permet, par comparaison avec l'exposition, de qualifier ou de quantifier un risque pour la santé humaine (11). Pour les effets toxiques survenant au-delà d'un seuil, cette valeur exprime la dose quotidienne d'une substance chimique ou sa concentration dans un milieu (eau, air, etc.) en dessous de laquelle on estime ne pas pouvoir observer la survenue d'effets néfastes dans une population exposée. L'effet sanitaire renseigné dans la base de données CipaTox est celui sur lequel a été fondé la VTR (effet dit critique), c'est-à-dire le premier effet toxique observable à une dose ou une concentration immédiatement supérieure à la VTR. Cela ne signifie pas l'absence d'autres effets sanitaires à une dose ou à une concentration plus élevée. La base CipaTox ayant été développée pour des besoins de surveillance épidémiologique des effets chroniques des expositions professionnelles, elle a été renseignée avec des VTR dites « long terme », construites pour des contacts répétés et étalés sur plusieurs années avec des substances toxiques, et ce quelle que soit la voie d'exposition. Pour les effets sans seuil de dose comme les effets cancérogènes génotoxiques, CipaTox a recherché les classements réglementaires de [l'Union Européenne](#) ainsi que ceux du [Circ](#) et de [l'US-EPA](#). Pour les effets perturbateurs endocriniens, la même démarche, fondée sur l'existence d'une VTR, a été suivie ; de plus, nous avons pris en compte la liste de substances prioritaires établie au niveau européen pour leur forte suspicion d'agir sur le système hormonal (12, 13). Il est à noter qu'une substance peut avoir plusieurs effets toxiques documentés dans la BDD. Ainsi, CipaTox décrit les effets cancérogènes, mutagènes-génotoxiques, reprotoxiques (CMR), respiratoires, immunotoxiques, neurotoxiques, cardiotoxiques, hépatotoxiques, néphrotoxiques, hématotoxiques et de perturbations endocriniennes (PE). Dans cette étude, nous avons fait le choix de limiter notre analyse aux effets CMR et PE.

Les informations sont issues d'une recherche bibliographique pour identifier les monographies publiées par des organismes connus et reconnus. Ce sont des organismes français (Anses, INRS), européens (Journal Officiel de la Communauté européenne ; Agence européenne des substances chimiques (ECHA) et internationaux (Centre international de recherche sur le cancer (Circ/OMS), Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (*Food and Agriculture Organization*, FAO), ou nationaux (Agence américaine de protection de l'environnement (US EPA), Agency for Toxic Substances and Disease Registry (USA-ATSDR), National Institute of Public Health and the Environment (RIVM - Pays-Bas), Santé Canada, Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA)).

2.3.1 Effets cancérogènes

Le lien entre l'exposition à une substance chimique et la survenue éventuelle d'un cancer est documenté à partir de trois sources : l'UE, le Circ et l'US-EPA. Chacune de ces organisations propose sa propre classification, avec parfois plusieurs dénominations coexistantes.

Le Tableau 1 fait la synthèse des trois classifications et leur correspondance selon les différents niveaux de preuve. Dans notre étude, seuls les effets cancérogènes classés comme avérés, supposés ou suspectés sont considérés. Nous les avons regroupés dans une catégorie appelée « cancérogènes probables », dénomination qui sera utilisée dans la suite de ce document. En cas de discordance entre les classements des trois organisations, pour une même substance, nous avons appliqué un principe du pire cas (*worst case*), c'est-à-dire qu'il suffit qu'une des sources classe une SA en « cancérogène avéré/supposé/suspecté » pour qu'elle soit considérée dans notre étude comme cancérogène probable.

I TABLEAU 1 I

Correspondance entre les trois classes de cancérogénicité de la base CipaTox et les classements de l'UE, du Circ et de l'US-EPA

Classification utilisée dans notre étude	Classification des effets cancérogènes selon le niveau de preuve	Classification de l'UE	Classification du Circ	Classification de l'US EPA
Cancérogènes probables	Avérés	Catégorie 1A : substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré	Groupe 1 : agent cancérogène (parfois appelé cancérogène avéré ou cancérogène certain).	<i>A partir de 2005</i> : Carcinogenic to humans <i>Avant 2005</i> : Catégorie A : cancérogène humain
	Supposés	Catégorie 1B : substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé	Groupe 2A : agent probablement cancérogène	<i>A partir de 2005</i> : Likely to be carcinogenic to humans <i>Avant 2005</i> : Catégorie B : cancérogène humain probable Catégorie B1 : les preuves apportées par les données épidémiologiques sont limitées. Catégorie B2 : les preuves apportées par les données épidémiologiques sont inadéquates ou inexistantes. Cependant, les preuves apportées par les études chez l'animal sont suffisantes
	Suspectés	Catégorie 2 : substances suspectées d'être cancérogènes pour l'Homme	Groupe 2B : agent peut-être cancérogène (parfois appelé cancérogène possible)	<i>A partir de 2005</i> : Suggestive evidence of carcinogenic potential <i>Avant 2005</i> : Catégorie C : cancérogène humain possible
Cancérogènes peu probables	Peu probables	-	Groupe 3 : agent inclassable quant à sa cancérogénicité Groupe 4 : agent probablement pas cancérogène	<i>A partir de 2005</i> : Inadequate information to assess carcinogenic potential / not likely to be carcinogenic to humans <i>Avant 2005</i> : Catégorie D : inclassable concernant la cancérogénicité humaine / E : non cancérogène pour l'humain
Néant	Non évalués	-	-	-

2.3.2. Effets mutagènes-génotoxiques et reprotoxiques

Ces effets sont renseignés par le classement réglementaire de l'UE (règlement CLP, CE n°1272/2008) en vigueur depuis 2008 en remplacement des directives 67/548/CEE et 1999/45/CE modifiées. Des éléments d'explication du règlement CLP sont fournis dans le Tableau 2. Par ailleurs, les effets reprotoxiques peuvent également être renseignés si une VTR les concernant est retrouvée. Notons que l'effet mutagène-génotoxique ne fait pas l'objet de VTR. Ces différentes sources sont compilées afin d'obtenir une classification en « oui » ou en « néant » en appliquant le principe du pire cas.

Ainsi, une substance est classée « oui » à partir du moment où elle est classée 1 (A ou B) et/ou quand une VTR avec un effet critique mutagène-génotoxique ou reprotoxique est retrouvée. La catégorie « néant » concerne les molécules pour lesquelles on ne peut pas conclure sur les propriétés mutagènes-génotoxiques ou reprotoxiques car elles n'ont fait l'objet d'aucune classification par les sources de données utilisées.

I TABLEAU 2 I

Classification des substances mutagènes-génotoxiques et reprotoxiques selon la directive CE n° 1272/2008

Groupe		Effets mutagènes-génotoxiques	Effets reprotoxiques
1A	Description	Mutagène avéré pour l'être humain	Reprotoxique avéré
	Bases scientifiques	Études épidémiologiques humaines	Études humaines
1B	Description	Mutagène considéré pour l'être humain	Reprotoxiques présumé
	Bases scientifiques	Essais <i>in vivo</i> sur cellules germinales mammifères	Études animales transposables à l'Homme
2	Description	Mutagène suspecté pour l'être humain	Reprotoxique suspecté
	Bases scientifiques	Essais <i>in vivo</i> sur cellules somatiques/essais <i>in vitro</i>	Études humaines et/ou animales non probantes

2.3.3. Effets de perturbation endocrinienne

La définition la plus communément admise des perturbateurs endocriniens a été élaborée par l'OMS (14) en 2002 : « les perturbateurs endocriniens sont des substances chimiques d'origine naturelle ou artificielle étrangères à l'organisme qui peuvent interférer avec le fonctionnement du système endocrinien et induire ainsi des effets délétères sur cet organisme ou sur ses descendants ».

Au moment où ce travail a été réalisé, les perturbateurs endocriniens ne faisaient l'objet d'aucune classification réglementaire, seule une liste non exhaustive a été établie par l'UE. Il s'agit d'une première étape de priorisation. Cette liste de l'UE regroupe les « substances dont le rôle en tant que perturbateurs endocriniens est à évaluer prioritairement » (11), d'après divers organismes et/ou la littérature scientifique ; les critères de sélection sont notamment la persistante dans l'environnement et la production en grand volume (> 1 000 tonnes par an).

Depuis, un texte que nous n'avons pas pu prendre en compte à l'origine du nouveau règlement (UE) 2018/605 a été adopté². Il stipule : « À partir du 20 octobre 2018, une substance active, un phytoprotecteur ou un synergiste est considéré comme ayant des propriétés perturbant le système endocrinien qui peuvent causer des effets indésirables chez l'homme si (...) il s'agit d'une substance qui répond à l'ensemble des critères suivants, à moins qu'il soit démontré que les effets indésirables identifiés ne concernent pas l'Homme :

- 1) elle présente un effet indésirable chez un organisme intact ou ses descendants, à savoir un changement dans la morphologie, la physiologie, la croissance, le développement, la reproduction ou la durée de vie d'un organisme, d'un système ou d'une (sous-)population qui se traduit par l'altération d'une capacité fonctionnelle ou d'une capacité à compenser un stress supplémentaire ou par l'augmentation de la sensibilité à d'autres influences ;
- 2) elle a un mode d'action endocrinien, c'est-à-dire qu'elle altère la ou les fonctions du système endocrinien ;
- 3) l'effet indésirable est une conséquence du mode d'action endocrinien. »

Pour compléter cette liste européenne, nous avons recherché l'existence d'une VTR pour un effet perturbateur endocrinien dans les différentes bases de données toxicologiques disponibles en ligne (Furetox³, [Toxnet](#)). Ces deux sources (liste européenne et existence de VTR dans les bases de toxicologie) ont été compilées et un classement en « oui » ou en « néant » a été effectué pour

2. Commission européenne. Règlement (UE) 2018/605 de la Commission 19 avril 2018 modifiant l'annexe II du règlement (CE) n° 1107/2009 en établissant des critères scientifiques pour la détermination des propriétés perturbant le système endocrinien. Journal Officiel L 101, 20/04/2018.

3. <http://www.furetox.fr> consulté en juin 2016. Le site n'est actuellement plus disponible.

l'ensemble des substances actives, en appliquant également, en cas de discordance, le principe du pire cas.

Cette compilation des données ne correspond pas à une expertise collective (au sens de la charte de l'expertise), mais à une organisation des connaissances et informations disponibles nous permettant de répondre à nos problématiques de surveillance des expositions des travailleurs agricoles et de leur santé. Nos classements et attributions d'effets sanitaires n'ont donc pas de valeur réglementaire.

2.4 Calculs des prévalences d'exposition (taux de prévalence et effectifs)

L'exposition aux pesticides des travailleurs agricoles est très hétérogène, tant en ce qui concerne les intensités d'exposition que les tâches au cours desquelles a lieu le contact avec les substances actives (9, 15). Il n'est pas possible de déterminer précisément ces tâches ni les niveaux d'exposition pour les différents types de travailleurs (exploitants, ouvriers, etc.), en l'absence d'un recueil historique des opérations effectuées. D'une part, les traitements sont réalisés avec un matériel variable, en portant ou non des équipements de protection individuels (EPI) efficaces et, d'autre part, les personnes exposées ne sont pas seulement celles qui appliquent les traitements : il peut s'agir aussi des personnes qui manipulent les préparations commerciales (achat, stockage, etc.), préparent les bouillies (remplissage des pulvérisateurs avec les préparations commerciales et les adjuvants), se déplacent dans les parcelles déjà traitées (ré-entrée) ou bien encore manipulent les récoltes ou réalisent des traitements post-récolte. Pour ces raisons, il n'a pas été possible de déterminer le statut d'exposition des travailleurs agricoles au niveau individuel.

En conséquence, pour quantifier la prévalence de l'exposition, c'est-à-dire le pourcentage de travailleurs exposés, l'étude a considéré que l'usage d'un pesticide ou d'une famille de pesticides dans une exploitation agricole est susceptible d'exposer tous ses travailleurs, exploitants et salariés. La prévalence d'exposition à un pesticide donné chez l'ensemble des travailleurs agricoles a ainsi été approchée par la probabilité d'usage de ce pesticide dans les exploitations agricoles qui est indiquée dans la matrice culture-exposition (6). Ainsi, si 20 % des exploitations de canne à sucre utilisent un PPP à un temps donné, la prévalence de l'exposition à ce PPP parmi la population des travailleurs agricoles des exploitations de canne à sucre qui a été considérée dans l'étude est de 20 %.

Les effectifs de travailleurs exposés ont ensuite été calculés en multipliant les prévalences d'exposition par les nombres de travailleurs fournis par les recensements agricoles de 1981, 1989, 2000 et 2010, concernant les deux populations de travailleurs agricoles de la canne à sucre pour lesquelles des données sociodémographiques robustes sont disponibles : la MOF et la MOS.

La méthode de calcul des effectifs exposés (EE) aux différents PPP au sein des exploitations de canne à sucre est la suivante :

$$EE_x = ET\text{-canne-}x * PU\text{-canne-}x$$

EE_x = effectif des travailleurs exposés présents au sein des exploitations de canne à sucre l'année X

ET-canne-x = effectif total des travailleurs des exploitations de canne à sucre l'année X (d'après le RA)

PU-canne-x = probabilité d'usage des PPP dans les exploitations de canne à sucre l'année X (d'après la MCE)

3. RÉSULTATS

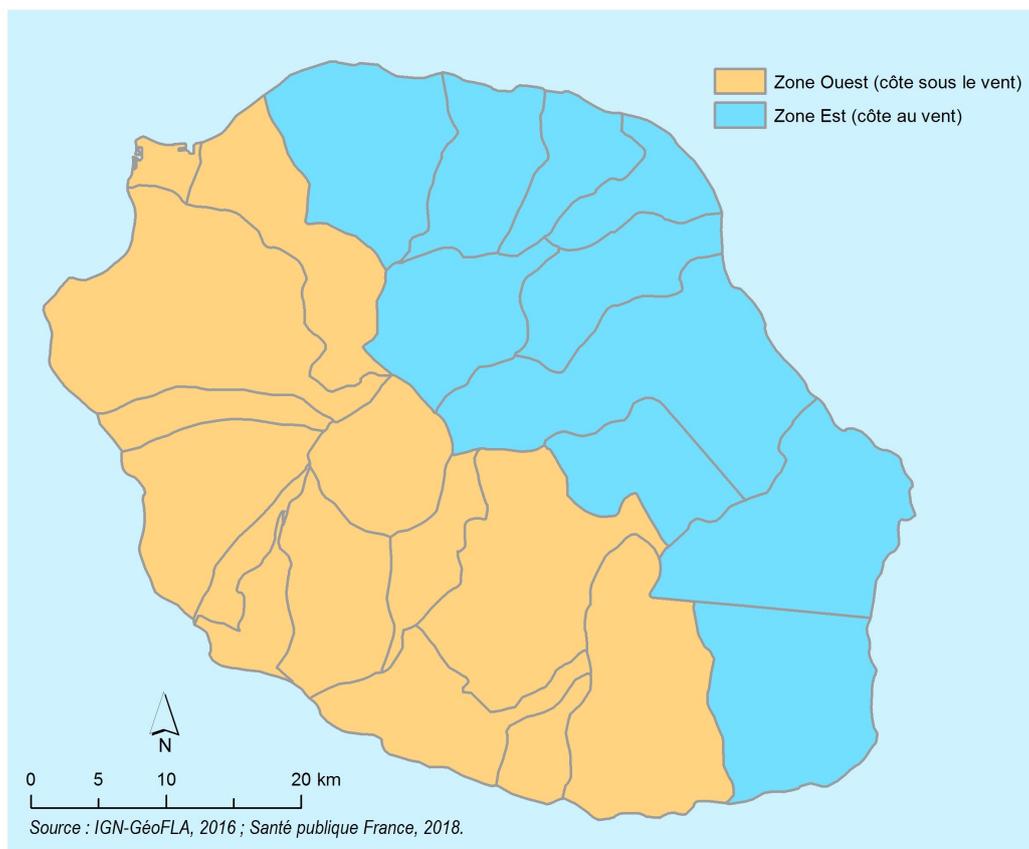
Cette partie présente les résultats de l'exploitation de chacune des trois BDD : le RA, la MCE canne à sucre et CipaTox. La quatrième partie décrira l'intérêt de combiner ces trois bases, pour arriver à des résultats innovants décrivant le continuum entre la population exposée, les SA utilisées et leurs toxicités.

3.1 Les caractéristiques des exploitations, de la main d'œuvre familiale et de la main d'œuvre salariée des exploitations de canne à sucre

La canne à sucre est la culture la plus répandue sur l'île de La Réunion. Près de la moitié des exploitations (entre 47 % et 55 % selon les années du RA) en cultivent. En 2010, la canne à sucre représentait 57 % de la surface agricole utilisée totale à La Réunion, elle en représentait 61 % en 1981. Deux zones géographiques sont généralement délimitées pour cette culture : la zone Est ou côte au vent, plus humide, et la zone Ouest ou côte sous le vent, plus sèche (Figure 1).

I FIGURE 1 I

Zone Est (côte au vent) et zone Ouest (côte sous le vent) de La Réunion



En 1981, 32 665 hectares de canne à sucre étaient cultivés à La Réunion. En 2010, cette surface est passée à 24 336 hectares (Figure 2). Les surfaces ont diminué de 28 % dans l'Est et de 23 % dans l'Ouest. Les surfaces de canne sont réparties de manière homogène dans les deux zones

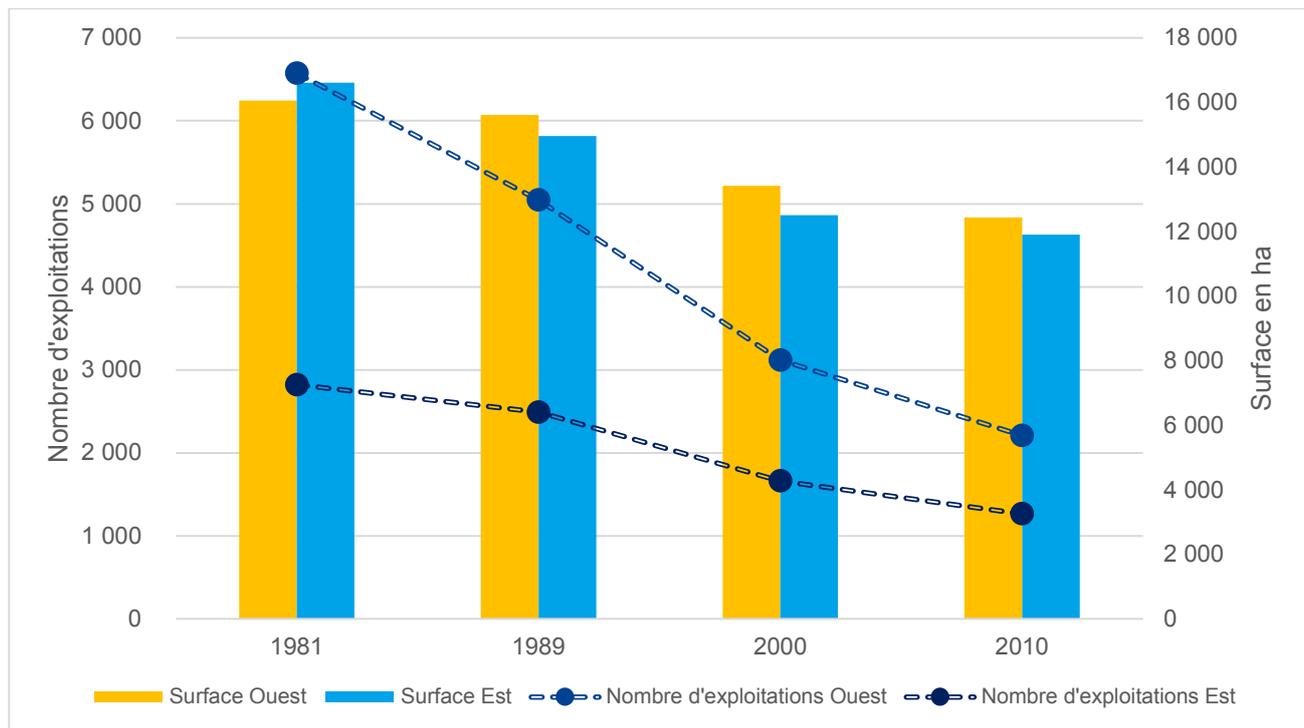
géographiques : 49 % des surfaces sont cultivées à l'Est et 51 % des surfaces sont cultivées à l'Ouest en 2010.

Le nombre d'exploitations déclarant cultiver de la canne sucre à La Réunion a fortement diminué entre 1981 (9 394 exploitations) et 2010 (3 473 exploitations), avec une baisse de 63 %. Cette baisse est moins importante dans l'Est (-55 %) que dans l'Ouest (-66 %). Bien que les surfaces cultivées en canne à sucre soient relativement proches, le nombre d'exploitations cultivant de la canne à sucre est inégalement réparti dans l'île : 36 % d'entre-elles se situent à l'Est et 64 % se situent à l'Ouest (en 2010). Les exploitations dans l'Est sont donc moins nombreuses, mais leur surface moyenne cultivée est plus grande. Entre 1981 et 2010, la surface moyenne d'une exploitation passe de 5,89 à 9,42 hectares dans l'Est soit une augmentation de 60 %, et de 2,44 à 5,63 hectares dans l'Ouest soit une augmentation de 130 %. En 2010 dans les exploitations de l'Est, la surface moyenne cultivée en canne est 67 % plus grande que celle des exploitations de l'Ouest. Le phénomène observé qui consiste en une baisse importante du nombre d'exploitations cultivant de la canne à sucre associé à une baisse moindre des surfaces de canne de l'île, est dû essentiellement à un regroupement des exploitations.

En 2010, parmi l'ensemble des exploitations agricoles réunionnaises (toute culture confondue) 52 % de celles de l'Est cultivent de la canne à sucre et 45 % de celles de l'Ouest. À noter que le nombre d'exploitations agricoles est inégalement réparti entre les deux zones.

I FIGURE 2 I

Nombre d'exploitations de canne à sucre et surfaces de canne à sucre en hectares, à l'Est et l'Ouest de La Réunion, en 1981, 1989, 2000 et 2010

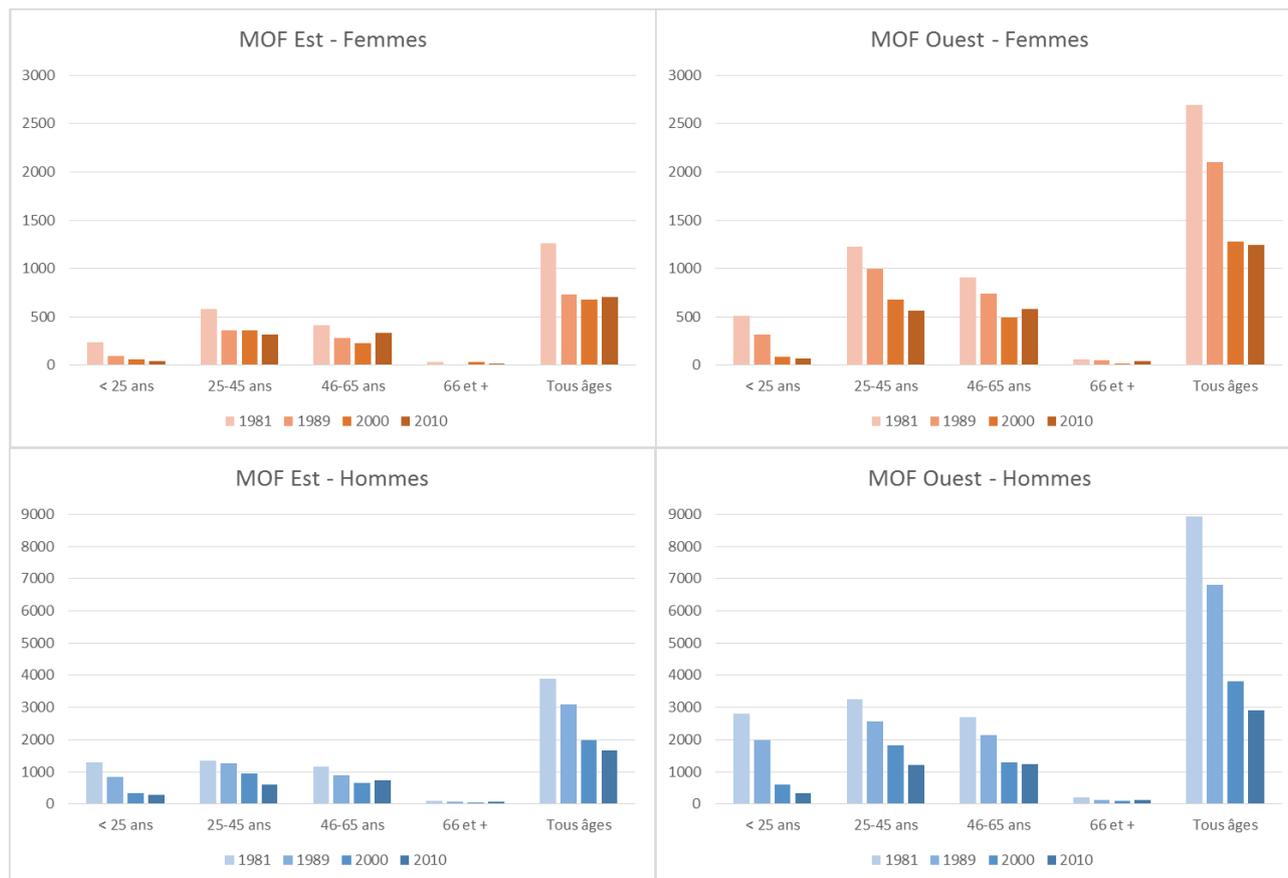


Les effectifs des travailleurs de la MOF, soit les chefs d'exploitations et les membres de leur famille dans les exploitations agricoles déclarant cultiver de la canne à sucre, baissent fortement entre 1981 et 2010 (16 777 vs 6 530) : -61 % (Figure 3). Cette baisse est plus marquée chez les hommes (-57 % dans l'Est et -67 % dans l'Ouest) que chez les femmes (-44 % dans l'Est et -54 % dans l'Ouest). Toutefois, cette réduction des effectifs est moins prononcée dans les années les plus récentes de notre étude. Ainsi, entre 2000 et 2010, elle varie entre -16 % (Est) et -23 % (Ouest) chez

les hommes et entre +3 % (Est) et -3 % (Ouest) chez les femmes. La pyramide des âges évolue légèrement entre 1981 et 2010. Ainsi, la part de moins de 25 ans, tout genre et zone confondus, passe de 29 % à 11 %. Cette part est plus faible chez les femmes passant de 19 % à 5 % quelle que soit la zone. La part des 25-45 ans reste stable dans le temps (38 % en 1981, 41 % en 2010). En revanche, la part des 46-65 ans augmente de manière significative (31 % vs 44 %). La part de la MOF âgée de plus de 66 ans est faible quelle que soit l'année de recensement (moins de 4 %).

I FIGURE 3 I

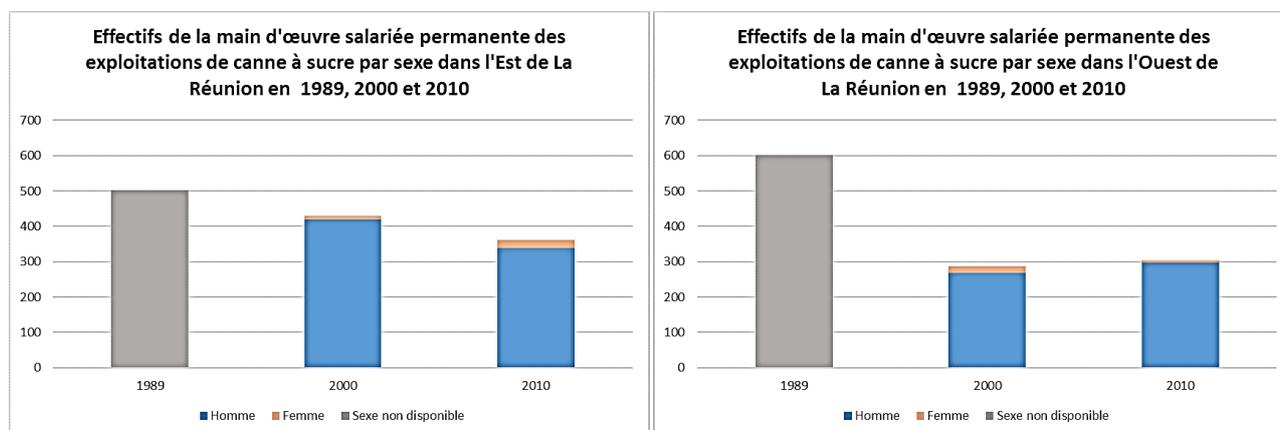
Effectifs de la main d'œuvre familiale (MOF) des exploitations de canne à sucre par âge et par genre dans la zone Est et la zone Ouest de La Réunion en 1981, 1989, 2000 et 2010



Les effectifs de la MOS, soit les salariés permanents non familiaux travaillant dans les exploitations déclarant cultiver de la canne à sucre, diminuent régulièrement dans l'Est entre 1989 et 2010 : -14% entre 1989 et 2000 et -16% entre 2000 et 2010, soit une baisse globale de -28% entre 1989 et 2010. Dans l'Ouest, la baisse globale est plus forte : -50%. Mais cette baisse ne se produit qu'entre 1989 et 2000 (-52%) et une légère augmentation est constatée entre 2000 et 2010 (+6%). Les effectifs de la MOS sont relativement faibles comparativement à la MOF. Ils s'élèvent à 1 104 individus en 1989, 716 en 2000 et 664 en 2010. La part des femmes dans cette population salariée non familiale est très faible : 3,8% (2000) et 4,4% (2010). À noter que les données concernant la MOS ne sont pas disponibles en 1981, que la répartition selon le genre n'est pas connue en 1989 et que la répartition par âge n'est pas disponible quel que soit le recensement.

I FIGURE 4 I

Effectifs de la main d'œuvre salariée permanente des exploitations de canne à sucre par sexe à l'Est et à l'Ouest de La Réunion en 1981, 1989, 2000 et 2010



Le Tableau 3 présente les effectifs de la main d'œuvre permanente totale (MOF + MOS). La main d'œuvre permanente sur les exploitations a continuellement diminué entre 1981 et 2010, de 16 777 à 7 194 (-57 %). Il est important de noter que les données de 1981 ne concernent que la MOF car il n'est pas possible de comptabiliser les effectifs de la MOS. L'effectif total de 1981 est donc sous-estimé. La structure de la population permanente est relativement stable : la MOS représente entre 8 % et 9,2 % des effectifs. Le temps d'activité de la main d'œuvre est également disponible dans les RA. La proportion de la main d'œuvre permanente en temps partiel a diminué au cours du temps. Elle est de 58 % en 1981 et 54 % en 2010 pour la MOF (40 % et 27 % pour les seuls chefs d'exploitation) et de 45 % en 1989 et 25 % en 2010 pour la MOS. En 2010, la majeure partie des chefs d'exploitation et des salariés agricoles de la canne à sucre travaillent à temps plein. Les autres membres de la MOF (conjointes, enfants, etc.) travaillent pour plus de 80 % à temps partiel, quel que soit le recensement et donc la période considérée.

I TABLEAU 3 I

Main d'œuvre permanente totale (MOF et MOS) à l'Est et à l'Ouest de La Réunion, de 1981 à 2010

	Zone Est			Zone Ouest			Réunion		
	MOF	MOS	Total	MOF	MOS	Total	MOF	MOS	Total
1981	5 145	-	5 145	11 632	-	11 632	16 777	-	16 777
1989	3 829	502	4 331	8 910	602	9 512	12 739	1 104	13 843
2000	2 656	430	3 086	5 086	286	5 372	7 742	716	8 458
2010	2 370	361	2 731	4 160	303	4 463	6 530	664	7 194

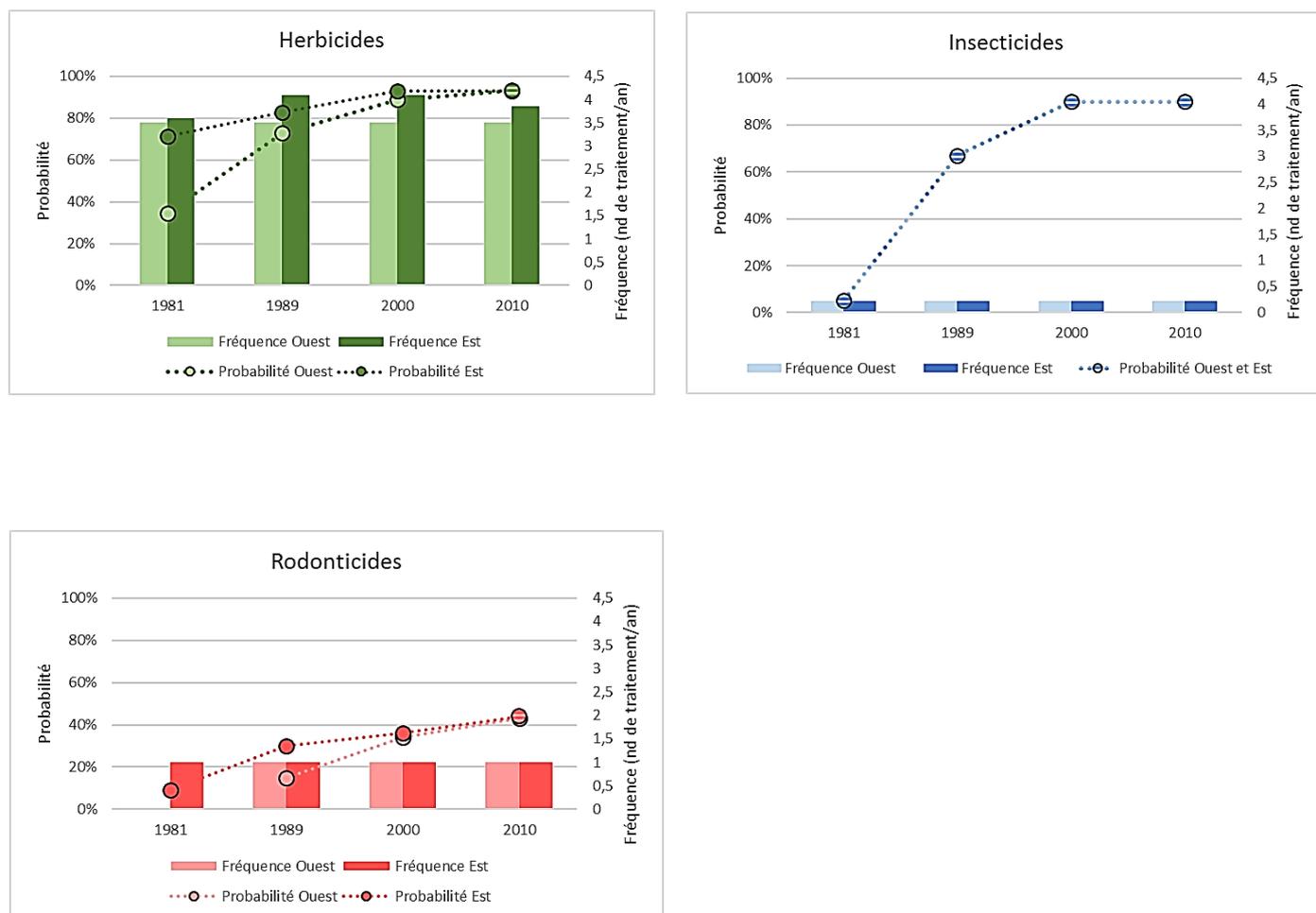
3.2 Les expositions aux produits phytopharmaceutiques dans les exploitations de canne à sucre à La Réunion : la MCE canne à sucre

À La Réunion, la culture de la canne à sucre reçoit des traitements de PPP principalement pour lutter contre les mauvaises herbes : les herbicides sont donc les principaux PPP utilisés. Les autres postes de traitement concernent, dans une moindre mesure, les insecticides (contre le vers blanc) et les rodenticides (contre les rats). Il n'y a pas d'utilisation significative de fongicides sur la canne à sucre. La MCE canne à sucre est décrite de manière détaillée dans son guide technique (7).

Le croisement de la MCE canne à sucre avec les RA permet l'estimation des prévalences d'expositions aux PPP utilisés par les travailleurs agricoles de la canne à sucre. Ainsi la prévalence d'exposition (probabilité) et la fréquence d'utilisation (nombre de traitements annuel) des familles chimiques appliquées sur les champs de canne à sucre sont décrites dans ce document pour les quatre recensements de 1981, 1989, 2000 et 2010. Chaque groupe de traitement de la MCE canne est décrit sur la Figure 5 ci-dessous. Les traitements phytopharmaceutiques sont distingués pour les deux zones géographiques : l'Est et l'Ouest de La Réunion.

I FIGURE 5 I

Probabilité et fréquence d'utilisation des herbicides, insecticides et rodenticides par les exploitations de canne à sucre au cours des 4 années du recensement agricole (1981, 1989, 2000 et 2010) à La Réunion



La canne à sucre est une culture recevant peu de traitements phytopharmaceutiques. En effet, peu de ravageurs créent des dégâts préjudiciables. D'autre part, il est difficile, voire impossible, d'effectuer des traitements en plein champs lorsque la canne à sucre a atteint un certain stade de développement : le couvert végétal très dense et haut empêche de circuler aisément dans les champs de canne. Les principaux postes de traitements concernent les herbicides. Ceux-ci sont appliqués principalement à deux stades : [1] peu de temps après la coupe annuelle de la canne ou lors de la plantation (herbicides de prélevée) et [2] de 2 à 4 mois après la coupe de la canne (herbicides de postlevée). Dans la partie Est de l'île est constatée une utilisation plus importante de produits phytopharmaceutiques. Dès 1981 plus de 70 % des exploitations de l'Est ont utilisé des produits phytopharmaceutiques pour le désherbage, contre 35 % dans l'Ouest. En 2010, il n'y a plus de différence dans les probabilités de traitements entre les 2 zones. Les fréquences de traitement sont légèrement plus élevées dans l'Est que dans l'Ouest (entre 3,5 et 4,1 traitements annuels) et sont quasi stables dans le temps.

Les insecticides sont principalement utilisés au moment des replantations de la canne à sucre pour lutter contre le ver blanc *Hoplochelus marginalis*, principal bioagresseur de la canne à La Réunion. Des traitements mineurs contre les foreurs de la tige ou les noctuelles peuvent être appliqués après la coupe, mais ils sont rares. La lutte contre le ver blanc a été rendue obligatoire par arrêté préfectoral en 1989⁴ impliquant une plus grande probabilité de traitement de la canne à sucre à partir de cette année-là. Cependant, les fréquences de traitements sont faibles (0,2 traitement annuels) car ils sont effectués lorsque la canne est complètement arrachée et replantée ce qui n'arrive que sur une certaine partie de l'exploitation (généralement toutes les parcelles de canne ne sont pas replantées la même année au sein d'une même exploitation).

L'utilisation des raticides est avérée dès 1970. Suite au passage d'un cyclone en 1969 ayant créé de nombreux dégâts, le développement de rats dans les champs de canne a été favorisé. La FDGDON (Fédération départementale des groupements de luttés contre les organismes nuisibles) propose des moyens de lutte collectifs depuis 1985. Les probabilités de traitement ont augmenté régulièrement passant de 9 % à 44 % dans l'Est entre 1981 et 2010 et de 15 % à 43 % dans l'Ouest entre 1989 et 2010.

Ils existent d'autres traitements sur la canne comme les fongicides, les stimulateurs de croissance ou encore les maturateurs (utilisés pour faire murir les cannes, c'est-à-dire augmenter la teneur en sucre en synchronisation avec les récoltes, ils étaient appliqués par hélicoptère), mais leurs usages sont marginaux.

3.2.1 Les traitements herbicides

Entre 1960 et 1980, les producteurs ayant moins de 4 hectares de canne à sucre n'utilisent pas ou peu d'herbicides, préférant la main d'œuvre familiale pour le désherbage manuel. La région Est, plus exposée aux précipitations, est plus sensible aux mauvaises herbes. De plus, les exploitations y sont en moyenne plus grandes. Ces éléments expliquent que le désherbage chimique se soit développé plus tôt dans cette zone. Enfin, l'augmentation généralisée de la taille des exploitations, les progrès techniques et la promotion de l'usage des PPP ainsi que le manque de main d'œuvre ont contribué à la généralisation des traitements herbicides dès la fin des années 1980.

La Figure 6 présente les six principales familles chimiques utilisées, les **acides picoliniques**, les **amino-phosphinates**, les **amino-phosphonates**, les **aryloxy-acides**, les **urées substituées** et les **triazines**. Pour chaque famille chimique présentée ci-après, sont indiquées entre parenthèses les années de début et de fin d'utilisation au cours de la période étudiée par la MCE canne à sucre soit entre 1960 et 2014.

Les acides picoliniques (1985-2013) sont utilisés initialement pour le débroussaillage comme par exemple contre certains plants ligneux (vigne marronne). Les deux SA utilisées sont le triclopyr et

4. Arrêté préfectoral n° 2008/DAE/SBSE du 21 août 1989.

le fluroxypyr. Les traitements se font par spot, c'est-à-dire sur certaines zones de la parcelle de canne. Les fréquences de traitement sont donc faibles car elles ne concernent pas toute la parcelle. Elles sont de l'ordre de 0,1 (soit l'équivalent de 10 % de la surface) en 1989 avec une probabilité de traitement de moins de 25 % (un quart des canniers). Au début des années 1990, cet usage est détourné pour lutter efficacement contre les lianes en début de cycle de culture. Les probabilités ainsi que les fréquences augmentent à 40 % et 1,1 traitement.

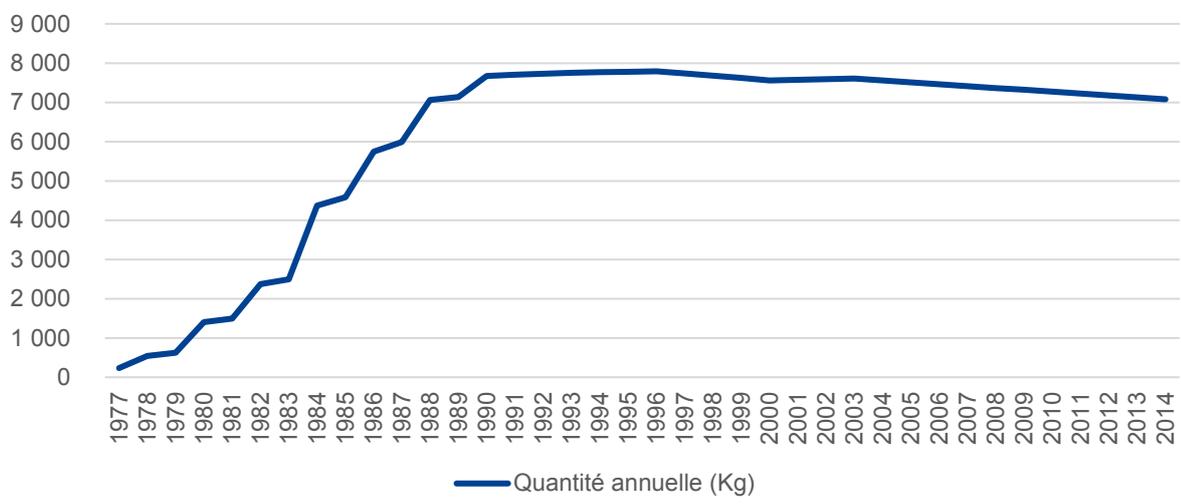
Les amino-phosphinates (1996-2014) sont représenté par une seule substance : le gluphosinate d'ammonium. Il s'agit d'un désherbant total (non sélectif et non systémique), beaucoup utilisé pour lutter contre les graminées. Il est moins agressif sur la canne à sucre que le glyphosate. Arrivé dès le début des années 1990, son essor ne débute cependant qu'à la fin de cette décennie. Il est utilisé de manière très marginale dans l'Ouest (<5 %), et de manière plus importante dans l'Est (90 % des volumes). La probabilité d'usage est de 16 % en 2000 et 24 % en 2010 (dans l'Est) et la fréquence n'évolue pas estimée à 1,17. Préférentiellement dans l'Est (au moins 90 % des volumes).

Les amino-phosphonates (1977-2014) sont représenté par une seule substance : le glyphosate. Il s'agit d'un désherbant total (non sélectif et systémique). Il est utilisé en spot pour lutter contre certaines adventices bien développées notamment les pluriannuelles et les vivaces, pour le traitement des bordures de parcelles ou bien à la replantation pour dessoucher les anciennes variétés. Son usage concerne les deux zones de l'île, avec une préférence pour l'Est au début des années 1980. Les probabilités de traitement en 1981, 1989, 2000 et 2010 sont respectivement pour l'Ouest et l'Est de La Réunion : 7 % / 14 % ; 51 % / 58 % ; 67 % / 70 % ; 70 % / 70 %. La fréquence de traitement est stable à 0,17 (soit 17 % de la surface en canne traitée) : il s'agit d'un herbicide de rattrapage utilisé sur les parties de la parcelle le nécessitant, les traitements en plein sur l'ensemble de la parcelle étant rares (seulement lors des replantations). Le principal traitement concerne les bordures de champs. En moyenne, une exploitation d'1 hectare utilise 430 grammes de glyphosate.

Entre 1977 (début de l'utilisation du glyphosate) et 2014 (fin de l'étude), il est possible d'estimer la quantité totale de glyphosate utilisé sur la canne à sucre soit 232 tonnes de substance active. En moyenne, 7,5 tonnes par an ont été utilisées depuis la fin des années 80 (1/2 tonne/an à la fin des années 70 et 3,5 tonnes/an au cours des années 80).

I FIGURE 6 I

Quantité de glyphosate (substance active) utilisée annuellement sur la canne à sucre entre 1977 et 2014



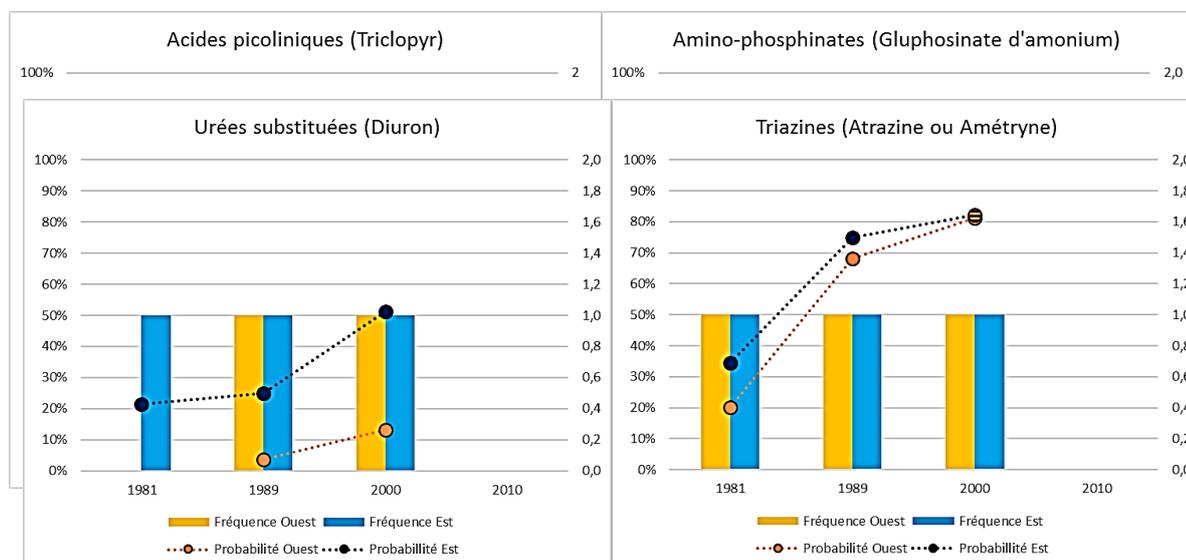
Les aryloxy-acides (1960-2014) sont la famille chimique herbicide de post-levée la plus utilisée en canne à sucre en termes de volume de produit commercial épandu. Elle est représentée par le 2,4-D, molécule phare des désherbages de la canne. La probabilité de traitement est élevée passant dans l'Est de 68 % en 1981 à 88 % en 2010 et dans l'Ouest de 33 % à 88 %. Il fut utilisé pendant de nombreuses décennies en mélange avec le TCA et le chlorate de soude (ce mélange était appelée « cocktail mauricien »). L'arrivée d'autres substances actives dont les triazines (atrazine, amétryne) ou les urées substituées (diuron) ont modifié les mélanges associés au 2,4-D, notamment dès la fin des années 70. Le nombre de traitements varie de 1,8 à 1,5 traitements dans l'Est et de 1,2 à 1 traitement dans l'Ouest. Il s'agit d'un premier traitement suivi ou non d'un rattrapage 1 mois et demi à 2 mois plus tard. Ce rattrapage est plus rare dans la partie Ouest de l'île, plus sèche et moins favorable à la végétation.

Les urées substituées (1973-2008) sont utilisées préférentiellement dans les régions humides à précipitations abondantes. Le diuron a souvent été utilisé en association avec du 2,4-D. Avant les années 70, le diuron a été utilisé par les gros planteurs (>50ha). L'arrivée des formulations liquides, plus simples d'utilisation, a permis son utilisation par les plus petits planteurs dès les années 90, notamment à l'Ouest. Les probabilités d'usage sont plus élevées dans l'Est (plus forte humidité et exploitations plus grandes) variant de 21 % en 1981 à 51 % en 2000, comparativement à l'Ouest où son usage est marginal au début des années 80, puis atteint 4 % en 1989 et 13 % en 2000. La fréquence de traitement est en moyenne d'1 passage annuel. L'usage du diuron sera utilisé jusqu'en 2008 et son interdiction.

Les triazines (1976-2003) sont utilisées en pré-levée (atrazine) ou en post-levée (amétryne), souvent en association avec le 2,4-D. Initialement vendue en gros conditionnement, l'atrazine était préférentiellement utilisée par les grandes exploitations. L'arrivée des formulations liquides a favorisé son usage par l'ensemble des exploitations dès la fin des années 70. L'atrazine est une substance sans risque phytotoxique pour la canne et la rémanence est longue (près de 3 mois), ce qui en fait une substance d'intérêt. L'amétryne aurait des effets phytotoxiques sur la canne au-delà de 2 kg de substance active à l'hectare. Les probabilités d'usage sont modérées en 1981 (34 % dans l'Est et 20 % dans l'Ouest) et élevées en 2000 (82 % et 81 %). Les triazines ont été interdites et ne sont plus utilisées sur canne après 2003.

I FIGURE 7 I

Probabilité et fréquence d'utilisation des herbicides, insecticides et rodenticides par les exploitations de canne à sucre au cours des 4 années du recensement agricole (1981, 1989, 2000 et 2010) à La Réunion

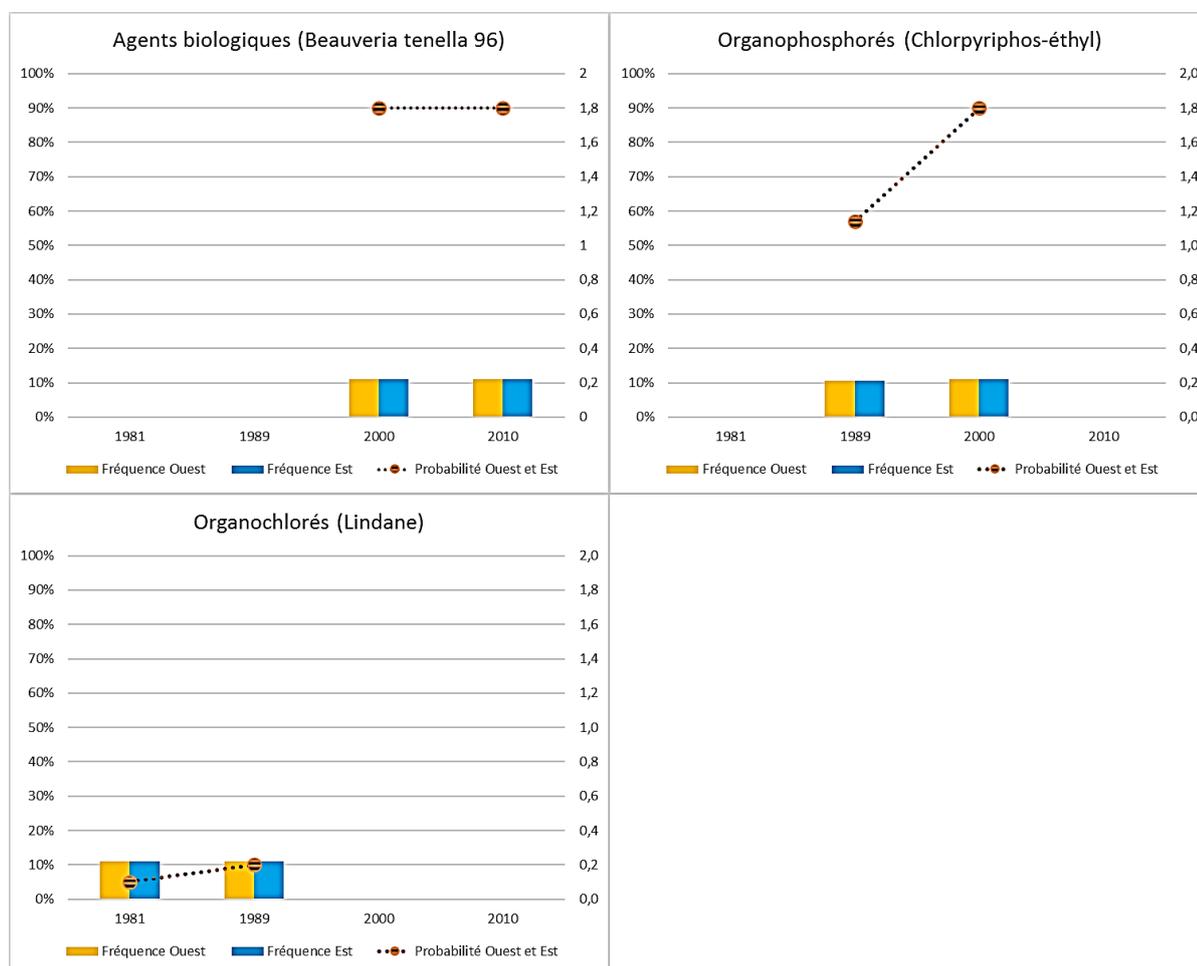


3.2.2 Les traitements insecticides

Les insecticides sont relativement peu utilisés sur la canne à sucre. Seul le ver blanc (dont les premiers dégâts sont constatés au début des années 1980) a conduit à des traitements devenus quasi systématiques (lutte obligatoire en 1989). Initialement effectuée à l'aide de produits chimiques de synthèse (organochlorés et organophosphorés), la lutte s'effectue depuis 1997 avec un produit biologique, issu de la culture d'un champignon parasite : *Beauveria tenella* 96. Ce produit est utilisé seul ou en alternance avec les autres produits de synthèse. De rares traitements à base de pyréthrinoïdes de synthèse pour lutter contre les foreurs de tige ou les noctuelles existent.

I FIGURE 8 I

Probabilité et fréquence d'utilisation des agents biologiques, des organophosphorés et des organochlorés (familles chimiques à usage insecticide) par les exploitations de canne à sucre, au cours des 4 années du recensement agricole (1981, 1989, 2000 et 2010) à l'Est et à l'Ouest de La Réunion



Les agents biologiques (1997-2014) sont utilisés dans la lutte contre le ver blanc. Il s'agit de la substance active *Beauveria tenella* 96 (agent de biocontrôle sous forme d'une bactérie), spécialement développé pour ce ravageur. Les autres substances actives de synthèse ont présenté un certain manque d'efficacité, notamment car les traitements sont réalisés au moment de la plantation de la canne et ne sont efficaces que pendant les premières années. À l'inverse, le champignon parasite permet une action plus longue. Il a été utilisé en association avec le chlorpyriphos-éthyl (dont il a permis un usage moindre) jusqu'en 2005, puis seul après l'interdiction

de cet organophosphoré. Les probabilités d'usage de cet agent biologique sont de 90 % en 2000 et 2010, avec une fréquence modérée de 0,22.

Les organophosphorés (1987-2005) ont été utilisés pour la lutte contre le ver blanc. L'éthoprophos a été utilisé de manière modérée, le chlorpyrifos-éthyl ayant été la principale substance active utilisée. Cette substance est incorporée au sol au moment de la plantation. Il a rapidement remplacé le lindane (organochloré) dans cette lutte. À noter que le lindane bénéficiait de subventions dans le cadre de la lutte obligatoire qui progressivement ont été stoppées (subvention de 100 % en 1987, 50 % en 1988 et 0 % en 1989). Le chlorpyrifos-éthyl qui a pris le relais a été utilisé par 57 % des canniers en 1989 et 90% en 2000, avec une fréquence de 0,22. Son usage est arrêté en 2005.

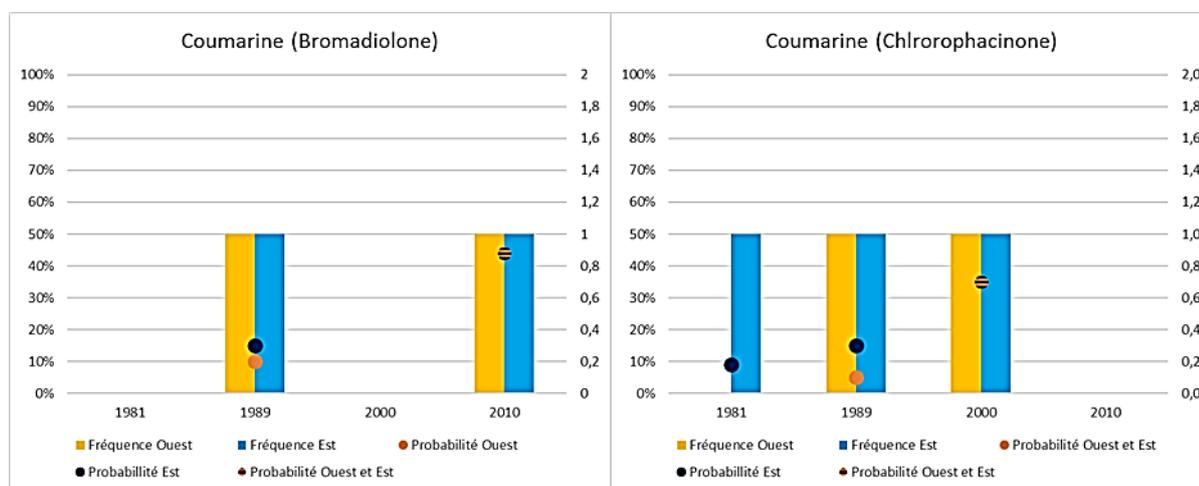
Les organochlorés (1970-1997) sont d'anciens insecticides relativement peu utilisés. Ils sont représentés par le lindane, dont l'usage a été significativement élevé. Il a été utilisé pour lutter contre les noctuelles avant 1980 dans l'Est par les grandes exploitations. Son usage augmente légèrement pour lutter contre le ver blanc au début des années 1980, en étant incorporé dans les sillons à la replantation de la canne. Il fut rapidement remplacé par les organophosphorés pour cette lutte à la fin des années 1980. Seul son usage modéré contre les noctuelles se maintient jusqu'en 1997. Les probabilités d'usage sont de 5 % en 1981 (lutte contre les noctuelles) et de 10 % en 1989 (lutte contre le ver blanc). La probabilité maximale est atteinte en 1978 avec 25 % des canniers utilisant cette substance contre le ver blanc principalement. La fréquence moyenne est de 0,22 (les traitements contre le ver blanc ayant lieu à la plantation, seules les parcelles replantées sont traitées).

3.2.3 Les traitements rodenticides

La lutte contre les rongeurs a recours à une seule famille chimique, celle des coumarines. Deux substances actives (bromadiolone et chlorophacinone) ont été utilisées en alternance (pour éviter les résistances) avec des périodes d'utilisation inégales. En 2014 a été utilisée une troisième substance, le brodifacoum. L'usage des rodenticides fait partie d'une lutte organisée. Les produits sont imposés aux canniers, ils ne choisissent pas les substances.

I FIGURE 9 I

Probabilité et fréquence d'utilisation des coumarines (famille chimique à usage rodenticide) par les exploitations de canne à sucre, au cours des 4 années du recensement agricole (1981, 1989, 2000 et 2010) à l'Est et à l'Ouest de La Réunion



En 1981, la chlorophacinone est utilisée par 9% des canniers de l'Est. Elle est ensuite utilisée par 5% des canniers à l'Ouest et 15% à l'Est en 1989. Enfin, en 2000, de 34% à 36% des canniers de l'île utilisent cette substance.

Concernant la bromadiolone, cette substance est utilisée en 1989 par 10% des canniers de l'Ouest et 15% des canniers de l'Est, et en 2010 par 43 à 44% des canniers de l'île. La fréquence est arbitrairement estimée à 1, l'ensemble des parcelles de canne étant traité par les canniers lorsqu'ils pratiquent cette lutte.

3.3 Identification des effets toxiques des substances actives utilisées

Pour rappel, seuls les effets cancérigènes, reprotoxiques, mutagènes-génotoxiques et les perturbations endocriniennes sont étudiés. Ainsi, il n'est aucunement exclu que les SA utilisées pour le traitement de la canne à sucre aient d'autres effets sanitaires, tels que des effets respiratoires, neurotoxiques, etc.

Les SA appliquées sur la canne à sucre sont utilisées à la fois dans la zone Est et la zone Ouest de l'île, c'est pourquoi la description des effets sanitaires des substances n'est pas distinguée entre les deux zones.

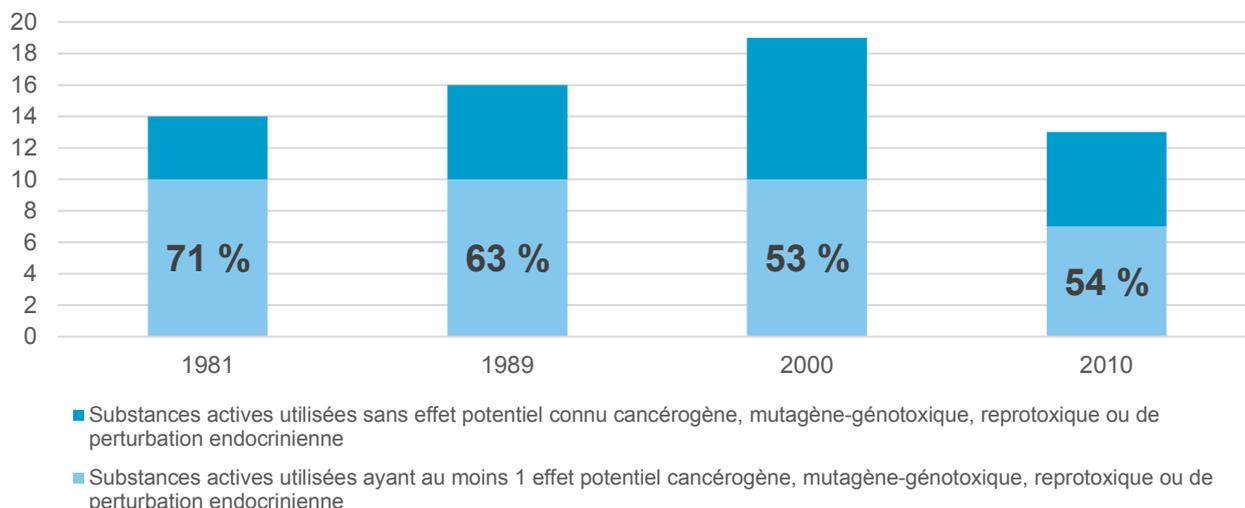
Par ailleurs, les effets des pyréthriinoïdes de synthèse ne sont pas pris en compte car, d'une part, les usages de cette famille chimique sont faibles (7 % entre 2000 et 2014) et, d'autre part, les probabilités d'usage n'ont pu être déterminées précisément pour ces substances. La cyperméthrine, la deltaméthrine et la lambda-cyhalothrine ont pu être utilisées de manière aléatoire, avec par conséquent des probabilités individuelles faibles. Ces substances n'ont donc pas été prises en compte.

3.3.1 Effets sanitaires des substances actives utilisées sur la canne à sucre lors des quatre recensements agricoles

Pour chacune des SA, les quatre effets sanitaires retenus (cancérigène, mutagène-génotoxique, reprotoxique (CMR) et perturbateur endocrinien (PE)) sont étudiés. La Figure 10 synthétise l'ensemble de ces effets sanitaires pour les quatre années des recensements agricoles retenus : 1981, 1989, 2000 et 2010. Le nombre de SA actives utilisées pour la canne à sucre atteint son pic en 2000, avec 19 SA, mais le nombre de SA ayant un effet sanitaire reste stable jusqu'en 2000, avec 10 SA, puis diminue en 2010, passant à 7 SA avec des effets sanitaires recensés. La part de SA ayant au moins 1 effet sanitaire diminue jusqu'en 2000 puis stagne à un peu plus de 50 % des SA utilisées.

I FIGURE 10 I

Nombre de substances actives avec ou sans effets cancérigène, mutagène-génotoxique, reprotoxique ou de perturbation endocrinienne, utilisées pour le traitement de la canne à sucre à La Réunion en 1981, 1989, 2000 et 2010

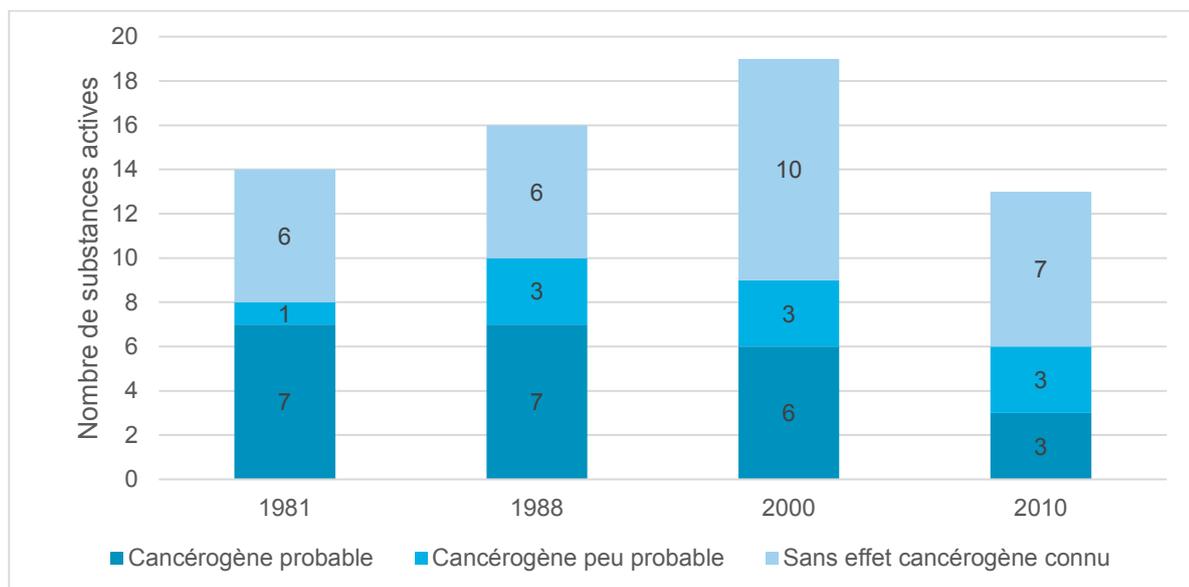


Les effets cancérigènes

Le nombre de SA ayant des effets cancérigènes probables (avérés, supposés ou suspectés) diminue régulièrement, passant de 7 en 1981 à 3 en 2010 (Figure 11). Par rapport au nombre total de SA utilisées une année donnée, le pourcentage de SA cancérigènes probables diminue également passant de 50 % en 1981 à 23 % en 2010.

I FIGURE 11 I

Nombre de substances actives ayant un effet cancérigène probable, un effet cancérigène peu probable ou sans effet connu, utilisées pour le traitement de la canne à sucre à La Réunion en 1981, 1989, 2000 et 2010



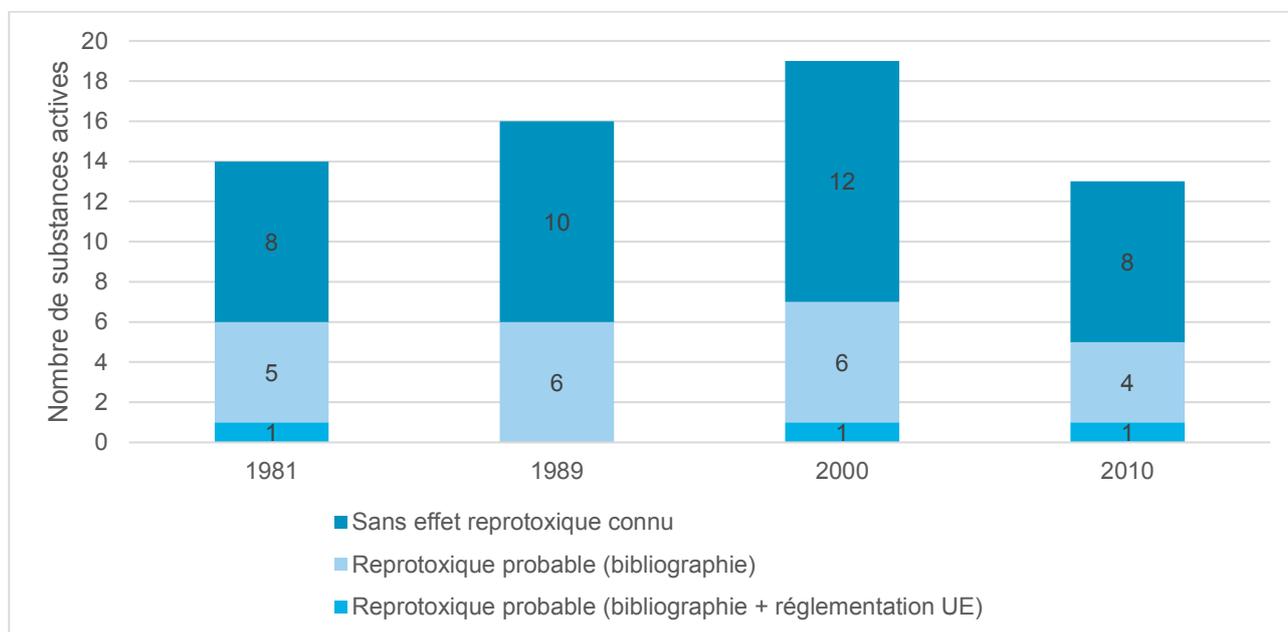
Les effets mutagènes-génotoxiques

Seule une SA (le bénomyl) utilisée pour la canne à sucre est classée mutagène-génotoxique. Elle n'a été utilisée qu'entre 1972 et 1982. Cette SA est classée 1B par l'UE, soit « Substance dont la capacité d'induire des mutations héréditaires dans les cellules germinales des êtres humains est supposée ».

Les effets reprotoxiques

I FIGURE 12 I

Nombre de substances actives ayant un effet reprotoxique probable selon le classement de l'UE ou selon la bibliographie, ou sans effet connu, utilisées pour le traitement de la canne à sucre à La Réunion en 1981, 1989, 2000 et 2010



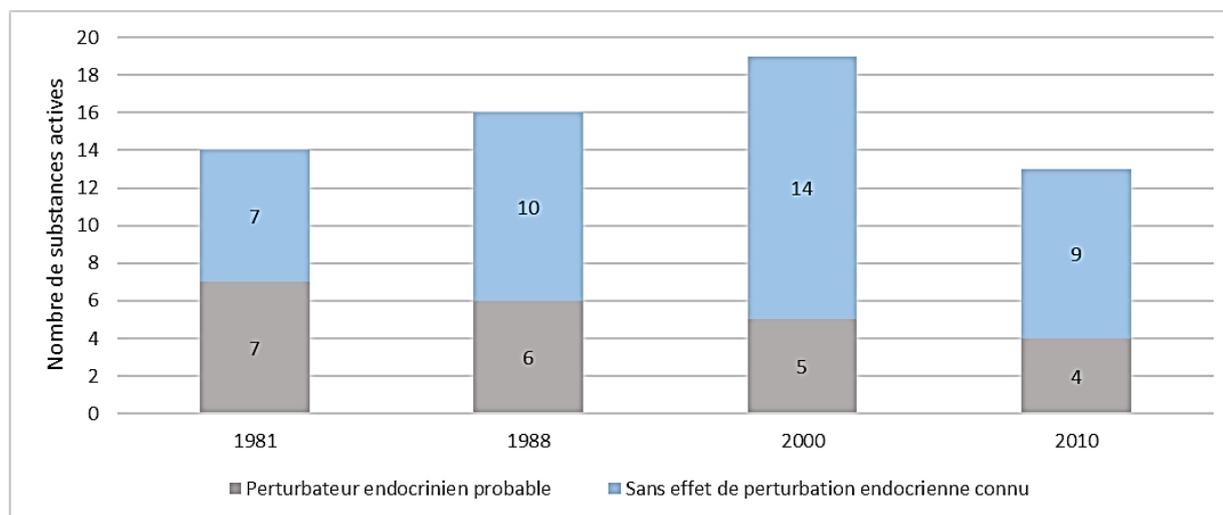
Selon la réglementation de l'UE et les études bibliographiques à la recherche d'une VTR (Furetox, [Integrated Risk Information System](#), [Toxicology data network](#)), le nombre de SA reprotoxiques probables utilisées comme PPP sur la culture de la canne à La Réunion et le pourcentage qu'elles représentent parmi l'ensemble des SA disponibles une année donnée sont relativement stables dans le temps : 6 SA en 1981 et 1989, 7 en 2000 et 5 en 2010, soit aux alentours de 60 % des SA utilisées pour la canne à sucre (Figure 12). Une SA en 1981 (le Bénomyl) et 1 SA en 2000 et 2010 (le glufosinate d'ammonium) ont un effet reprotoxique probables à la fois selon la bibliographie (existence d'une VTR) et la réglementation de l'Union européenne. Les autres SA ayant un effet reprotoxique probable ne le sont pas par la réglementation de l'Union européenne, mais par la recherche bibliographique.

La perturbation endocrinienne

Le nombre de SA ayant une action connue ou suspectée de perturbation endocrinienne (PE) selon notre méthode (liste de l'UE sur les substances dont le rôle en tant que perturbateurs endocriniens est à évaluer prioritairement + données bibliographiques en toxicologie : Furetox, [Integrated Risk Information System](#), [Toxicology data network](#)) diminue progressivement dans le temps : 7, 6, 5 et 4 en 1981, 1988, 2000 et 2010 respectivement (Figure 13). Pour autant, la part des SA ayant un effet de PE parmi l'ensemble des SA utilisées sur la canne à sucre, reste toujours à un niveau modéré, atteignant 31 % des SA en 2010.

I FIGURE 13 I

Nombre de substances actives ayant un effet de perturbation ou sans effet connu, utilisées pour le traitement de la canne à sucre à La Réunion en 1981, 1989, 2000 et 2010



3.3.2 Focus sur le recensement agricole de 2010

Au cours de l'année 2010 (date du dernier RA), les exploitations cultivant de la canne ont utilisé 13 SA différentes. Nous avons documenté des effets de perturbation endocrinienne, de cancérogénicité et de reprotoxicité pour 7 d'entre-elles et aucune n'est classée réglementairement ou selon les données bibliographiques en tant que mutagène-génotoxique. Les effets sanitaires des 13 SA sont décrites dans le Tableau 4 et révèlent que, parmi les 13 substances utilisées en 2010 :

- 2 SA (le 2,4-D et le glyphosate) ont 3 effets sanitaires concomitants : perturbation endocrinienne, cancérogénicité et reprotoxicité
- 1 SA (la pendiméthaline) induit à la fois des effets de perturbation endocrinienne et de cancérogénicité
- 1 SA (l'asulame) est considéré exclusivement comme perturbateur endocrinien
- 3 SA sont uniquement reprotoxiques
- 6 SA n'ont aucun effet sanitaire recensé selon la méthode que nous avons utilisé

La prévalence d'exposition des travailleurs agricoles des exploitations cannières en 2010 pour les 2 SA ayant les 3 effets sur la santé combinés est de à 88 % pour le 2,4-D et de 70 % pour le glyphosate. Les prévalences d'exposition professionnelle à au moins une SA considérée comme cancérogène ou reprotoxique ou perturbatrice endocrinienne se situe à 88 %. Cela signifie, qu'en 2010, parmi l'ensemble des travailleurs agricoles de la canne à sucre à La Réunion, 88 % d'entre eux ont été exposés à au moins un PPP considéré selon notre méthode comme toxique pour la reproduction, provoquant un cancer ou induisant une perturbation du système endocrinien, soit 6 330 personnes, dont 5 746 appartiennent à la MOF et 584 à la MOS (Tableau 5). Parmi la MOF, 70 % sont des hommes (4 032) et 30 % sont des femmes (1 714) ; 2 988 ont moins de 45 ans (71 % d'hommes et 29 % de femmes).

I TABLEAU 4 I

Liste des 13 substances actives utilisées sur la canne à sucre à La Réunion en 2010 et leurs effets sanitaires associés

Substance active		Effets sanitaires		
Nom	Groupe	Perturbation endocrinienne	Cancérogénicité	Reprotoxicité
2,4-D	Herbicide	x	x	x
Glyphosate	Herbicide	x	x	x
Asulame	Herbicide	x		
Pendiméthaline	Herbicide	x	x	
Triclopyr	Herbicide			x
Glufosinate d'ammonium	Herbicide			x
Mésotrione	Herbicide			x
Beauveria tenella 96	Insecticides			
Benoxacor	Herbicide			
Fluroxypyr	Herbicide			
Métribuzine	Herbicide			
S-métolachlore	Herbicide			
Bromadiolone	Rodenticide			

I TABLEAU 5 I

Nombre de travailleurs agricoles exposés à au moins un produit phytopharmaceutique considéré comme toxique pour la reproduction, provoquant un cancer ou induisant une perturbation du système endocrinien, selon la catégorie de main d'œuvre, le genre et la classe d'âge en 2010

Type de main d'œuvre	Genre	Age	2010
MOF	Hommes	< 25 ans	535
		25-45 ans	1588
		46-65 ans	1738
		66 et +	172
		Tous âges	4032
	Femmes	< 25 ans	92
		25-45 ans	774
		46-65 ans	802
		66 et +	48
		Tous âges	1714
	Total	< 25 ans	627
		25-45 ans	2361
		46-65 ans	2540
		66 et +	219
Tous âges		5746	
MOS	Hommes	Tous âges	559
	Femmes	Tous âges	26
	Total	Tous âges	584

4. SYNTHÈSE DES EXPOSITIONS ET DES RISQUES SANITAIRES ASSOCIÉS

4.1. Principaux résultats sur l'exposition des travailleurs de la canne à sucre en 1981, 1989, 2000 et 2010

Nous avons étudié les caractéristiques de la population agricole travaillant dans les exploitations de canne à sucre à La Réunion à partir des données des recensements agricoles. Ceux-ci ne fournissent des données suffisantes que pour la main d'œuvre permanente à savoir la MOF et la MOS (excepté pour l'année 1981 pour la MOS). Les autres catégories de main d'œuvre qui ont un caractère saisonnier (MOO et personnel des ETA/Cuma) ne sont pas précisément comptabilisées et n'ont pas pu être prises en compte dans notre étude. Les travailleurs considérés comme main d'œuvre permanente (MOF + MOS) sont principalement masculins (entre 70 et 78 % selon les années) et sont plus nombreux à l'Ouest de l'île (entre 64 et 70 % selon les années) que dans l'Est (entre 30 et 36 %). Les effectifs ont diminué de 57 % entre 1981 et 2010 passant de 16 777 à 7 194 individus. Parallèlement, nous avons étudié les pratiques phytopharmaceutiques sur la culture de la canne à sucre en construisant une MCE recensant l'ensemble des PPP appliqués sur la canne à sucre depuis les années 60.

Cette MCE a pris en compte deux indicateurs (la probabilité et la fréquence d'utilisation des PPP) qui ont été attribués aux groupes de traitements (herbicides, insecticides et rodenticides) et aux principales familles chimiques et SA. Les probabilités de traitement ont continuellement augmenté depuis 1981. Le recours aux herbicides s'est quasi généralisé au fil du temps sur la culture de la canne à sucre à La Réunion sans différence notable entre l'Est et l'Ouest de l'île, contrairement à ce qu'il se passait en 1981. Les traitements insecticides concernent aussi la quasi-totalité des exploitations depuis le milieu des années 2000 et seuls les agents biologiques sont utilisés aujourd'hui. Les rodenticides sont appliqués par près de la moitié des exploitations en 2010. Enfin, nous avons sélectionné quatre effets sur la santé qui surviennent à distance d'une exposition de longue durée aux PPP et nous les avons documenté pour chaque SA utilisée sur la culture de la canne à sucre à La Réunion. Ainsi ont été étudiées : la cancérogénicité, la mutagénicité-génotoxicité, la reprotoxicité et la perturbation endocrinienne. Le Tableau 6 présente le nombre de SA ayant ces effets sur la santé et utilisées lors des 4 années du RA faisant l'objet de notre étude. Les prévalences d'exposition à au moins une de ces substances ont été renseignées ainsi que les effectifs de travailleurs exposés correspondants.

I TABLEAU 6 I

Nombre de substances actives, prévalences d'exposition et nombre de personnes (main d'œuvre permanente) exposées selon l'effet sanitaire et l'année dans les exploitations de canne à sucre à La Réunion en 1981, 1989, 2000 et 2010

Année du recensement		1981	1989	2000	2010
Effet cancérogène	Nombre de SA	7	7	6	3
	Prévalence d'exposition (au moins 1 SA cancérogène)	44%	69%	80%	88%
	Nombre de personnes exposées (au moins 1 SA cancérogène)	7 338	9 551	6 767	6 330
Effet mutagène	Nombre de SA	1	0	0	0
	Prévalence d'exposition (au moins 1 SA mutagène)	6%	0%	0%	0%
	Nombre de personnes exposées (au moins 1 SA mutagène)	1 007	0	0	0
Effet reprotoxique	Nombre de SA	5	6	7	5
	Prévalence d'exposition (au moins 1 SA reprotoxique)	44%	72%	81%	88%
	Nombre de personnes exposées (au moins 1 SA reprotoxique)	7 338	9 984	6 890	6 330
Effet perturbation endocrinienne	Nombre de SA	7	6	5	4
	Prévalence d'exposition (au moins 1 SA perturbateur endocrinien)	44%	72%	81%	88%
	Nombre de personnes exposées (au moins 1 SA perturbateur endocrinien)	7 338	9 984	6 890	6 330

Lecture du tableau : en 2010, 3 substances actives avec des effets cancérogènes probables ont été utilisées dans les exploitations. La prévalence d'exposition des travailleurs agricoles à au moins une de ces substances est de 88% (pour la SA la plus utilisée). Le nombre de personnes travaillant de manière permanente dans ces exploitations et potentiellement exposées est d'au moins 6 330 personnes.

Liste des SA classées cancérogènes : 2.4D, atrazine, diuron, glyphosate, lindane, métolachlore, pendiméthaline, TCA.

Liste des SA classées mutagènes: bénomyl.

Liste des SA classées reprotoxiques : 2.4D, atrazine, bénomyl, gluphosinate d'ammonium, glyphosate, lindane, mésotrione, métolachlore, triclopyr.

Listes des SA classées perturbateurs endocriniens : 2.4D, asulame, atrazine, bénomyl, chlorate de soude, diuron, glyphosate, pendiméthaline.

Excepté pour l'effet mutagène-génotoxique qui ne concerne qu'une SA à laquelle a été exposé un faible nombre d'individus en 1981, le nombre de travailleurs exposés aux autres SA épandues sur la canne à sucre et identifiées comme ayant un effet sur la santé diminue légèrement au cours du temps (7 338 en 1981 et 6 330 en 2010). Notons que la baisse du nombre de travailleurs exposés à une substance néfaste pour la santé n'est que de 13,7 %, tandis que le nombre de travailleurs a globalement diminué de 57,1 % entre 1981 et 2010. Ceci s'explique par une augmentation des prévalences d'exposition aux PPP au cours des trente années étudiées, passant de 44 % sur l'ensemble de l'île (33 % dans l'Ouest et 68 % dans l'Est) à 88 % dans les deux zones géographiques. En 1989, le nombre de travailleurs exposés à au moins une substance cancérigène, reprotoxique ou PE atteint un pic avec 9 551 pour l'effet cancérigène et 9 984 pour les effets de reprotoxicité et de PE. Enfin, notons que les prévalences d'exposition sont plus élevées à l'Est qu'à l'Ouest de La Réunion avant 2010 du fait de pratiques phytopharmaceutiques moindres à l'Ouest. Cependant les pratiques ont eu tendance à s'homogénéiser au cours du temps entre les deux zones et les prévalences d'exposition professionnelle à se rapprocher.

5. DISCUSSION - CONCLUSION

Notre étude a permis d'évaluer pour la première fois les expositions des travailleurs réunionnais de la canne à sucre aux pesticides qu'ils utilisent sur cette culture. Ainsi, nous avons pu estimer des prévalences d'exposition professionnelle et des effectifs de travailleurs agricoles exposés ; nous avons également pu identifier certains des principaux effets sur la santé qui apparaissent à distance, associés à l'utilisation prolongée de produits phytopharmaceutiques dans les exploitations agricoles produisant de la canne à sucre à La Réunion.

En 1981, 33 % de l'ensemble des agriculteurs de la canne à sucre à l'Ouest de La Réunion ont été exposés à au moins un PPP considéré comme CMR ou PE, et 68 % à l'Est (44 % pour l'ensemble de l'île). Cette prévalence d'exposition passe à 88 % en 2010 et ce quel que soit la région de l'île prise en compte. Le nombre de personnes exposées ne suit cependant pas cette augmentation. Ainsi, les effectifs calculés correspondants de la main d'œuvre permanente (MOF + MOS) sont de 7 338 en 1981, 9 984 en 1989, 6 890 en 2000 et de 6 330 en 2010. Malgré un pic en 1989, les effectifs sont en baisse entre 1989 et 2000. L'augmentation des prévalences d'exposition à des CMR ou PE est contrebalancée par la baisse généralisée des effectifs totaux des travailleurs agricoles de la canne à sucre, ces derniers passant de 16 777 en 1981 à 7 194 en 2010.

Concernant le groupe des herbicides dans sa globalité, la prévalence d'exposition des travailleurs agricoles de la canne à sucre à La Réunion à ces PPP est passée de 35 % / 71 % (Ouest/Est) en 1981 à 93 % (pour les 2 zones de l'île) en 2010 avec une fréquence d'utilisation relativement stable comprise entre 3,5 et 4,1 traitements par an (entre 1981 et 2010, pour les 2 zones de l'île).

Concernant le groupe des insecticides, la prévalence d'exposition des travailleurs a fortement augmenté passant de 5 % en 1981 à 90 % en 2010. Cette augmentation est due à l'arrivée du ver blanc dont les effets sur la production de canne à sucre sont particulièrement néfastes. Il est important de noter qu'une grande partie de ces insecticides ne sont pas des composés issus de la synthèse chimique mais concernent un agent biologique issu d'un champignon. C'est le seul insecticide déployé sur la canne contre le ver blanc à partir de 2005. La fréquence d'utilisation est faible car elle concerne essentiellement des traitements appliqués au cours des replantations qui n'ont pas lieu sur l'ensemble des parcelles chaque année.

Enfin, concernant les rodenticides, les usages bien que modérés ont régulièrement augmenté passant de 9 % dans l'Est en 1981 (0 % dans l'Ouest) à 44 % dans l'Est en 2010 (43 % dans l'Ouest). L'augmentation de pullulation de rongeurs (rats, souris) est constatée dans les parcelles agricoles ([BVS réunion](#)).

Issue d'un travail innovant et collaboratif, la matrice culture-exposition canne à sucre à La Réunion a été réalisée avec l'objectif de renseigner par année, de 1960 à 2014 l'ensemble des PPP appliqués sur cette culture. Des indicateurs d'exposition (probabilité, fréquence et intensité) ont été construits pour l'Ouest et l'Est de La Réunion, par groupe de traitement (herbicides, insecticides, rodenticides), par famille chimique et par SA. Parallèlement, nous avons construit CipaTox, une base de données capable de lister un nombre d'effets sanitaires qui se produisent avec une certaine latence et suite à une exposition prolongée et répétée aux PPP. Elle a permis pour la première fois de répertorier selon une méthode précise et homogène les PPP susceptibles d'être CMR ou PE. Cet historique des pratiques phytosanitaires en production de canne à sucre à La Réunion est inédit, tout comme l'organisation des connaissances sur les effets néfastes sur la santé de l'ensemble des SA décrites que propose la base CipaTox. À noter que la MCE est un outil très pertinent pour décrire l'évolution des expositions professionnelles agricoles dans une population et évaluer des expositions dans des études épidémiologiques ou pour des programmes de surveillance. Le croisement de ces bases de données avec le recensement agricole permet d'avoir une description démographique de la population des travailleurs agricoles réunionnais exposés aux pesticides appliqués sur la canne à sucre. Nous avons ainsi pu calculer des prévalences d'exposition professionnelle à des dates

précises, dénombrer les effectifs de travailleurs concernés par cette exposition et décrire certaines de leurs caractéristiques en différenciant les deux grandes zones réunionnaises de production de la canne à sucre (Est versus Ouest).

Ainsi, les forces de notre étude résident dans l'exhaustivité des bases de données construites ou utilisées. La MCE recense l'ensemble des PPP utilisés sur la canne à sucre à La Réunion depuis 1960. Le caractère rétrospectif et la possibilité de répartir par famille chimique ou par zone géographique en fait un puissant outil et permet notamment d'élaborer un score d'exposition utile dans les études épidémiologiques. Le recensement agricole implique l'ensemble des exploitations agricoles réunionnaises concernées par la culture de canne à sucre. Il est exhaustif sur la population agricole spécifique de La Réunion et donne la possibilité d'identifier les catégories d'emploi, le genre, la surface agricole etc. grâce à une série de variables. La base de données CipaTox documente de manière exhaustive, selon une méthodologie originale et rigoureuse, les effets sur la santé de l'ensemble des SA homologuées en France depuis 1961. Il s'agit d'une compilation et d'un recoupement de plusieurs sources de données pour identifier les effets sanitaires. Dans son intégralité, elle prend en compte, en plus des effets CMR et perturbateurs endocriniens, sept autres types d'effets toxiques : hématologiques, néphrologiques, etc. Par ailleurs, nos travaux sont dédiés exclusivement à la population des travailleurs de canne à sucre à La Réunion et ont permis une description fine et historique aussi bien de cette population que des expositions aux PPP qu'elle subit.

Notre étude n'a pas la prétention de répondre aux nombreux questionnements s'agissant de l'exposition aux PPP des travailleurs de la canne à sucre à La Réunion et leurs effets sanitaires. Elle présente en cela plusieurs limites.

Les différentes bases de données utilisées ainsi que les méthodes appliquées pour obtenir nos résultats sont sujettes à plusieurs types d'incertitudes qu'il convient de rappeler.

- Les matrices cultures expositions (MCE) et la quantification des prévalences d'exposition
 - Ces grandes bases de données permettent d'évaluer les expositions aux PPP selon les cultures agricoles (i.e. la canne à sucre) en fournissant des indicateurs dont la probabilité. Celle-ci est une valeur moyenne, qui reflète des pratiques parfois hétérogènes au sein des exploitations agricoles. Estimée à partir de données disparates (documentation agricole, statistiques locales, avis de spécialistes, etc.), il n'est pas possible de connaître la dispersion de cet indicateur via le calcul d'un écart type. Nos résultats ne sont pas (et ne peuvent pas être) donnés avec des intervalles de confiance.
 - Les MCE décrivent les usages des PPP sur les cultures à l'échelle des exploitations agricoles et non des travailleurs. Il n'est donc pas possible d'assigner une exposition particulière à un travailleur donné ni de distinguer l'exposition des travailleurs entre eux selon leur poste de travail ou les tâches qui leur sont assignées : préparateurs de bouillies, applicateurs, travailleurs à proximité des épandages, travailleurs en contact avec les cultures traitées, etc. À noter qu'au-delà des tâches, le matériel lui-même peut être source d'une exposition aux PPP. En outre, pour une même tâche les niveaux d'exposition peuvent varier très fortement d'un individu à l'autre et le port des équipements de protection individuelle (EPI) adaptés est rarement parfaitement respecté dans les conditions climatiques difficiles de La Réunion. Le défaut d'information disponible au niveau des tâches réalisées ou des personnes nous a contraints à décrire la prévalence d'exposition à un pesticide donné en population par la fréquence de son usage au niveau des exploitations. Les prévalences d'exposition ainsi quantifiées doivent donc être considérées comme des indicateurs d'exposition potentielle. De plus, ce choix revient à supposer que tous les travailleurs agricoles d'une exploitation sont exposés. Cette hypothèse haute, qui ne peut pas être vérifiée en l'état actuel des connaissances, est cependant plausible. En effet, les études de mesure d'exposition menées dans différents milieux agricoles montrent que les personnes

exposées ne sont pas seulement celles qui appliquent les traitements : il peut s'agir des personnes manipulant les préparations commerciales (achat, stockage, etc.), préparant les bouillies (remplissage des pulvérisateurs avec les préparations commerciales et les adjuvants), appliquant les traitements (avec du matériel qui peut être très varié), se déplaçant dans les parcelles déjà traitées (phénomène de « réentrée ») ou bien encore manipulant les récoltes et réalisant des traitements post-récolte (15, 16).

- Le recensement agricole (RA)
 - Les activités partielles sont susceptibles d'engendrer des doublons dans le comptage des effectifs de la main d'œuvre familiale (MOF) et de la main d'œuvre salariée permanente non familiale (MOS). En effet, un même individu peut être compté deux fois dans la MOS ou la MOF, ou bien à la fois dans la MOF et la MOS. Par exemple, un individu peut être recensé en tant que MOF à mi-temps et avoir une activité en tant que MOS à mi-temps dans une autre exploitation. De même, il peut être considéré comme MOF dans deux exploitations différentes (chef d'exploitation dans l'une et fils du chef d'exploitation dans une autre). Toutefois, il n'est pas possible, selon les données disponibles d'avoir des précisions permettant de comptabiliser sans risque de doublon les effectifs de la MOS et de la MOF. La description de la MOF dans les RA permet de savoir, pour les membres de la famille travaillant dans l'exploitation familiale, si leur seconde activité est liée à une activité agricole ou non. Ce n'est pas le cas pour la MOS dont on ne connaît que le temps de travail effectué au sein de l'exploitation agricole. Pour avoir une estimation du nombre potentiel de doublons, nous avons effectué un calcul de risque maximum de doublons en faisant l'hypothèse qu'il s'agit d'activités doubles uniquement dans des exploitations cannières. Ce risque maximum est compris, pour les quatre RA à La Réunion, entre 3,4 % et 9,6 % pour la MOF et entre 5,6 % et 24,5 % pour la MOS. Le risque de doublon élevé pour la MOS ne concerne que l'année 1989. Cette surestimation est à mettre en regard des effectifs relativement faibles de la MOS par rapport à l'ensemble de la MO permanente (8 % en 1989). La méthode de calcul de ce risque de doublons est expliquée dans la note descriptive des RA Dom (6).
 - Le RA décrit la population travaillant dans les exploitations agricoles. Cependant, la population des saisonniers agricoles, des travailleurs des ETA (entreprises de travaux agricoles) et des Cuma (coopératives d'utilisation de matériel agricole) est mal décrite et n'a pas pu être étudiée. L'absence de ces deux sous-populations dans notre étude engendre une sous-estimation des prévalences d'exposition. Toutefois notre population peut être jugée comme légèrement surestimée par la présence de doublons dans la main d'œuvre permanente (notamment chez les salariés à temps partiel).
 - Le RA permet de disposer de données disponibles que tous les dix ans environ et le suivi longitudinal de la population n'est pas réalisable. Il n'est donc pas possible de suivre dans le temps les populations recensées d'un RA à un autre. Les analyses effectuées dans notre étude sont donc limitées à chacune des années du RA. Seules des cohortes permettent ce type d'analyses longitudinales. C'est le cas d'une cohorte de travailleurs agricoles, mise en place par Santé publique France : la cohorte Coset MSA (17, 18). Elle concerne l'ensemble de la population française agricole y compris celle située dans les DOM. Les données de cette cohorte spécifique aux agriculteurs réunionnais pourront être croisées avec la MCE canne à sucre à La Réunion.
- La base des effets toxiques des substances actives pour la santé humaine (CipaTox)
 - Elle ne constitue pas une classification réglementaire, mais une organisation des données disponibles sur la toxicité pour l'homme des substances actives pesticides, dans

le cadre d'une exposition chronique (de plusieurs années). La méthode utilisée pour la constituer présente certaines limites. Les effets retenus sont ceux nommés critiques, c'est-à-dire les effets néfastes dont protège la valeur seuil exprimée par la VTR. D'autres effets parfois plus graves ou atteignant d'autres organes peuvent s'exprimer à des expositions plus élevées. Connaissant l'exposition importante des travailleurs agricoles de La Réunion (peu de port d'EPI, condition de chaleur et d'humidité intense, beaucoup de traitements manuels), cette possibilité ne peut être exclue. Ce qui signifie que cette évaluation qualitative des effets sur la santé dus à une exposition aux PPP utilisés sur la canne à sucre à La Réunion est incomplète et minorée.

- L'étude des effets sur la santé liés à la perturbation endocrinienne est rendue complexe par l'absence de définition réglementaire, bien que récemment amendée par les autorités européennes. Pour notre étude, nous avons pris en compte ce phénomène en compilant deux types de données : la première concerne la liste européenne dans laquelle les SA considérées comme préoccupantes et à étudier en priorité ont été recensées, la deuxième concerne les données bibliographiques montrant de potentiels effets (à partir de bases de données en toxicologie). Il ne s'agit donc pas d'une classification officielle, mais d'une première approche sur les potentiels effets des SA. Cette base nécessitera des mises à jour régulières et sera amenée à évoluer en fonction des nouvelles réglementations et état des connaissances.
- Nous avons choisi de nous focaliser en priorité sur des effets toxiques de types CMR ou PE. Cela ne signifie pas que d'autres effets sanitaires bien connus des PPP ne peuvent pas survenir lors d'exposition aux SA utilisées sur la canne à sucre (nephrotoxicité, hépatotoxicité, neurotoxicité, etc.). La base de données Cipa-tox a listé ces effets qui seront décrits ultérieurement dans un document consacré à cette base. Ainsi, il faut bien garder à l'esprit que, dans le présent document, quand une SA n'est ni CMR ni PE cela ne signifie pas qu'elle n'a aucun impact sur la santé, elle peut être à l'origine d'effets toxiques graves que nous avons choisis de ne pas traiter dans ce document pour ne pas l'alourdir.

Au total, cette évaluation de l'exposition professionnelle aux pesticides, fondée sur les données disponibles les plus récentes, montre des résultats inédits et préoccupants. Sa principale conclusion est que la presque totalité des travailleurs agricoles de la canne à sucre à La Réunion (88 %, soient plus de 6 000 exploitants et salariés) était en contact, en 2010, avec des substances chimiques ayant des effets toxiques cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques et/ou perturbateurs endocriniens.

Les résultats de cette étude sont utiles pour guider l'action publique et faire prendre conscience aux décideurs comme aux préventeurs de l'utilité d'engager de vastes actions de communication pour induire une prévention ciblée.

Des campagnes d'information des travailleurs agricoles sont indispensables pour une meilleure perception des risques sanitaires liés à l'usage de pesticides, notamment pour faire comprendre l'intérêt de limiter globalement les traitements et avoir un matériel adéquat bien entretenu. Les formations « Certiphyto » peuvent être un cadre adéquat pour attirer l'attention des travailleurs agricoles sur les risques induits par leurs pratiques de travail. Nos travaux peuvent aider à identifier les cibles prioritaires de cette sensibilisation (travailleurs à plus fort risque d'exposition, femmes en âge de procréer, etc.) et le contenu des formations, notamment dans le cadre de la formation des formateurs menée par l'INMA, l'Institut national de médecine agricole. Il faudrait fortement insister sur la sensibilisation et la formation des préparateurs, épandeurs et de toutes personnes travaillant dans des exploitations agricoles, aux managements en toute sécurité du matériel utilisé. La difficulté de porter des équipements de protection individuelle (EPI) en climat chaud rend nécessaire de promouvoir l'innovation dans ce domaine et de convaincre les travailleurs de suivre les préconisations du port d'EPI en adéquation avec leurs conditions de travail. Le projet EPI DOM dédié à la conception d'un EPI capable de protéger les agriculteurs contre les pesticides, même en cas de

forte chaleur, ouvre des perspectives pour une meilleure compliance des agriculteurs réunionnais au port des EPI.

Une campagne de mesure directe de l'exposition aux pesticides, par dosage biologique dans une population représentative des travailleurs agricoles réunionnais, se justifie dans ce contexte. Elle permettrait de documenter le niveau d'imprégnation actuel à des PPP cibles, et apporterait des arguments factuels pour sensibiliser les travailleurs. De plus, la répétition à intervalles réguliers de la mesure biologique des expositions aux pesticides de ces professionnels serait des plus utiles pour évaluer l'impact des campagnes de prévention mises en place.

Enfin, il est utile de rappeler que notre étude, en identifiant notamment les populations à plus fort risque d'exposition (par exemple les travailleurs réalisant les traitements avec du matériel à dos), permet d'orienter une prévention secondaire, et d'organiser un suivi personnalisé des travailleurs par la médecine du travail ou un suivi post professionnel pour les anciens travailleurs de la canne à sucre. Une meilleure sensibilisation des médecins généralistes et des médecins du travail sur ces risques d'exposition peut être utile pour entamer une demande de prise en charge dans le cadre d'une reconnaissance en pathologie professionnelle.

Références bibliographiques

1. Agreste. Le désherbage de la canne à sucre à La Réunion, résultats de l'enquête statistique réalisée en 2014 sur les pratiques culturales. Analyses 101 : Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt.; 2016 Septembre.
2. AGRO-FIL n°7 Les cannes à sucre à La Réunion. 2015 [updated 28 juin. [Available from: <http://www.agrotours-reunion.com/canneasucre-reunion.php>].
3. Marnotte P, Esther J, Martiné J, Jeannette M. Nuisibilité de l'enherbement en culture de canne à sucre. Cirad. Saint-Denis: Cirad ; 2008.
4. Phoolchund HN. Aspects of occupational health in the sugar cane industry. J Soc Occup Med. 1991;41(3):133-6.
5. Cahour L, Gentil C, Spinosi J. Utilisation des recensements agricoles de La Réunion, Guadeloupe et Martinique pour le croisement avec les matrices cultures expositions Matphyto : quelles données populationnelles disponibles ? Saint-Maurice (France) : Santé publique France ; 2018.
6. Spinosi J, Févotte J. Le programme Matphyto – Matrices cultures-expositions aux produits phytosanitaires : Institut de veille sanitaire; 2008 Juin. 16 p.
7. Spinosi J, Gouy M. Document technique pour la construction de la matrice culture exposition de la canne à sucre à La Réunion. Projet Matphyto-DOM. Saint-Maurice (France) : Santé publique France; 2018.
8. Chaperon L, Perrier L, Spinosi J, El Yamani M. Éléments techniques sur la compilation des index phytosanitaires Acta. Saint-Maurice (France) : Santé publique France ; 2016 Mars. Report No.: 979-10-289-0188-2.
9. Batti A, El Yamani M, Spinosi J. Construction d'indicateurs d'exposition aux pesticides à partir de classements réglementaires et de données de toxicité des substances homologuées. Grenoble : Université Grenoble Alpes ; 2016 27 juin.
10. Spinosi J, Chaperon L, Perrier L, El Yamani M. Approche de l'exposition professionnelle des travailleurs agricoles. Exploitation de quelques résultats issus de la compilation des index phytosanitaires Acta de 1961 à 2014 : Institut de veille sanitaire; 2016 Février 2016. 6 p.
11. Towards the establishment of a priority list of substances for further evaluation of their role in endocrine disruption. European commission - DG ENV; 2000.
12. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de la médecine et du médicament. Valeurs toxicologiques de référence (VTR) 2017 [Available from: <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-toxicologiques-de-reference-vtr>].
13. Assessment of endocrine disrupting properties in EFSA. Conclusions on the Pesticides Peer Review. Efsa; 2015 23 septembre.
14. WHO. Global assessment of the state of the science of endocrine disruptors 2002. [Available from: http://www.who.int/ipcs/publications/new_issues/endocrine_disruptors/en/].
15. Inserm. Pesticides, effets sur la santé. Expertise collective. Paris: Inserm ; 2013.
16. Maroni M, Fanetti AC, Metruccio F. Risk assessment and management of occupational exposure to pesticides in agriculture. Med Lav. 2006;97(2):430-7.

17. Coset. Cohortes pour la surveillance épidémiologique en lien avec le travail : Santé publique France; [Available from: <http://www.coset.fr/>].

18. Bénézet L, Geoffroy-Perez B, Spinosi J, El Yamani M. Évaluation de la faisabilité d'utiliser des matrices cultures-expositions pour estimer les expositions aux produits phytopharmaceutiques dans une cohorte de travailleurs agricoles. Saint-Maurice (France) : Santé publique France; 2016.

Citation suggérée : Évaluation des expositions professionnelles aux pesticides utilisés dans la culture de la canne à sucre à l'île de La Réunion et de leurs effets sanitaires. Projet MatPyhto DOM. Saint-Maurice : Santé publique France, 2019. 37 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 2609-2174/ ISBN-NET 979-10-289-0502-6 / RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE / DÉPÔT LÉGAL : FÉVRIER 2019