



Evaluation du risque de contamination par le chlordécone via l'ingestion de sol par des bovins Créoles au pâturage, étude de deux facteurs de variation : offre fourragère et humidité du sol

Alexandre Tricheur

► To cite this version:

Alexandre Tricheur. Evaluation du risque de contamination par le chlordécone via l'ingestion de sol par des bovins Créoles au pâturage, étude de deux facteurs de variation : offre fourragère et humidité du sol. Sciences du Vivant [q-bio]. 2017. hal-02791408

HAL Id: hal-02791408

<https://hal.inrae.fr/hal-02791408>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



istom



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

Cti
Commission
des Titres d'Ingénieur



ISTOM
Ecole Supérieure d'Agro-Développement International

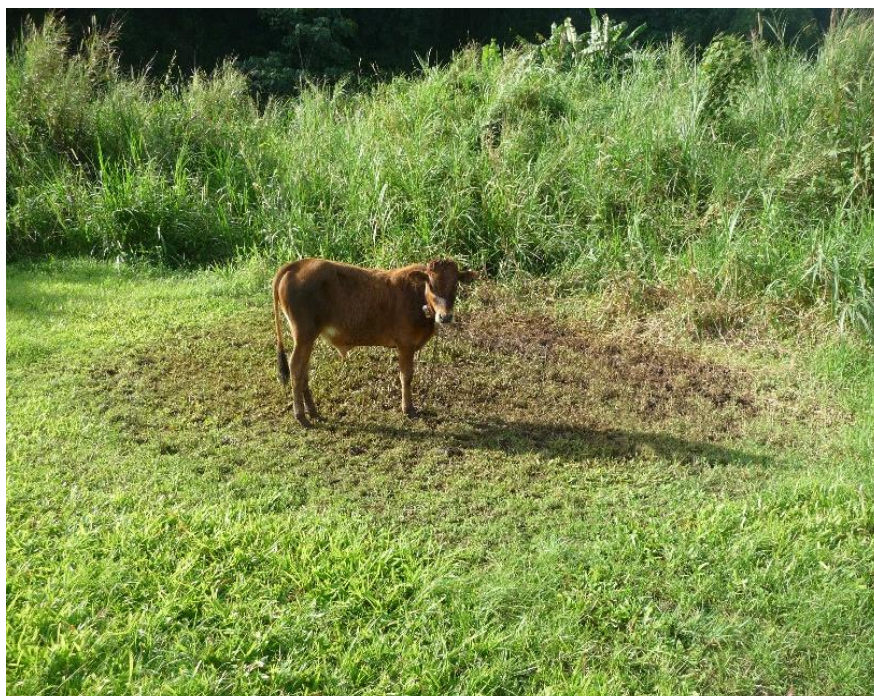
32, boulevard du Port F. - 95094 - Cergy-Pontoise Cedex
Tél. : 01 30 75 62 60 Télécopie : 01 30 75 62 61 istom@istom.net



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Mémoire de fin d'études

Evaluation du risque de contamination par le chlordécone via l'ingestion de sol par des bovins Créoles au pâturage, étude de deux facteurs de variation : offre fourragère et humidité du sol



Bovin Créole, ©INRA/Madly Moutoussamy

TRICHEUR Alexandre
Promotion 103

Stage effectué à Prise d'eau, Guadeloupe
Du 02/02/17 au 31/07/17
Au sein de l'INRA- Centre Antilles-Guyane

Maître de stage : MAHIEU Maurice
Tuteur pédagogique : COSTERA PASTOR Adrián

Mémoire de fin d'études soutenu en Octobre 2017



istom



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

Cti
Commission
des Titres d'Ingénieur

ISTOM

Ecole Supérieure d'Agro-Développement International



32, boulevard du Port F. - 95094 - Cergy-Pontoise Cedex
Tél. : 01 30 75 62 60 Télécopie : 01 30 75 62 61 istom@istom.net



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Mémoire de fin d'études

Evaluation du risque de contamination par le chlordécone via l'ingestion de sol par des bovins Créoles au pâturage, étude de deux facteurs de variation : offre fourragère et humidité du sol

Mémoire de fin d'études soutenu en Octobre 2017

TRICHEUR Alexandre
Promotion 103

Stage effectué à Prise d'eau, Guadeloupe
Du 02/02/17 au 31/07/17
Au sein de l'INRA- Centre Antilles-Guyane

Maître de stage : MAHIEU Maurice
Tuteur pédagogique : COSTERA PASTOR Adrián

Résumé

Le chlordécone (CLD) est un produit phytosanitaire largement utilisé dans les bananeraies entre 1972 et 1993 afin de lutter contre le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*. Interdit en France en 1993, sa présence dans les biotopes Antillais a été mise en évidence en 1999 suite à la découverte de fortes concentrations dans l'eau de consommation. En 2005 l'AFSSA a publié son rapport dans lequel elle fait état de la contamination des denrées alimentaires par le CLD. De l'utilisation massive de ce pesticide dans les Antilles françaises, en résulte une pollution à long terme des sols. Le sol constitue donc la principale voie de contamination et de transfert des polluants vers les produits animaux. Plusieurs études ont démontré que les animaux d'élevage pouvaient être exposés à un risque d'ingestion volontaire ou involontaire d'une quantité non négligeable de sol. Le mode d'élevage au piquet largement pratiqué en Guadeloupe est susceptible d'influencer cette ingestion de sol. Il est donc apparu nécessaire de quantifier la quantité de sol ingéré par des bovins Créoles au piquet dans différentes conditions de pâturage. Douze taurillons Créoles ont été conduits dans un système individuel de pâturage au piquet avec un déplacement journalier sur une nouvelle aire à pâturer. Le dispositif expérimental a consisté en un cross-over avec trois modalités d'offre fourragère (BAS, 100g MS/kg PM/j ; HAUT, 150g MS/kg PM/j ; ADLIB, 300g MS/kg PM/j) croisées avec deux modalités d'humidité du sol (SEC, conditions du Carême, potentiel matriciel > 40 ; HUM, conditions de l'hiver antillais, potentiel matriciel < 19). L'aire de pâturage individuelle spécifique est calculée quotidiennement en fonction de la quantité d'herbe à offrir et de la biomasse disponible. La surface allouée est modulée grâce à la longueur de chaîne. Les trois offres proposées ont induit une surface de pâturage journalière différente ($P < 0,001$) (BAS : 23,28 m², HAUT : 34,51 m² et AD LIB : 69,16 m²). Ces différentes surfaces ont impliqué des niveaux d'ingestion de matière sèche différents avec une ingestion significativement plus faible ($P < 0,05$) pour la modalité BAS (BAS : 1,59 kg MS/animal/j, HAUT : 2,09 kg MS/animal/j et AD LIB : 2,33 kg MS/animal/j). La digestibilité de la matière organique est également significativement plus faible pour la modalité BAS (BAS : 0,67, HAUT : 0,73 et AD LIB : 0,73). L'ingestion journalière de sol par animal fut mesurée grâce à la teneur en titane des fèces, le titane étant un marqueur du sol ingéré en raison de son fort ratio de concentration dans le sol vs dans l'herbe. L'offre BAS a induit une pression de pâturage plus forte et en résulte une proportion de sol ingéré significativement plus haute que pour la modalité AD LIB (BAS : 1,34%, HAUT : 1,12% et AD LIB : 0,70%). Les quantités de sol ingéré des modalités BAS et HAUT sont significativement plus hautes que celle de la modalité AD LIB (BAS : 21,04 g / 100 kg PV, HAUT : 20,07 g / 100 kg PV et AD LIB : 14,17 g / 100 kg de PV). En effet, les modalités BAS et HAUT provoquent des pressions de pâturage plus fortes que pour la modalité AD LIB et donc un risque d'ingestion de sol plus élevé.

Mots-clés : chlordécone, ingestion de sol, élevage au piquet, humidité, offre fourragère, pâturage, taurillons, Antilles

Summary

Chlordecone (CLD) is a phytosanitary product widely used in banana plantations between 1972 and 1993 to control the banana weevil *Cosmopolites sordidus*. Banned in France in 1993, its presence in the Caribbean biotopes was highlighted in 1999 following the discovery of high concentrations in drinking water. In 2005, AFSSA published its report on the status of food contamination by the CLD. The massive use of pesticides in the French West Indies has resulted in long-term soil pollution. Soil is the main route of contamination and transfer of pollutants to animal products. Several studies have shown that livestock can be exposed to a risk of intentional or unintentional ingestion of a significant amount of soil. The tethered rearing widely practiced in Guadeloupe, prone to influence this ingestion of soil. Thus, it appears necessary to quantify the amount of ingested soil by the Creole bulls at tethering under different soil humidity conditions and grazing conditions. Twelve Creole bulls were conducted in an individual grazing system to the tether with a daily grazing area. The experimental design consisted of a cross-over with three different daily herbage allowances (BAS, 100g DM / kg BW / d, HAUT, 150g DM / kg BW / d, ADLIB, 300g DM / kg BW / d) crossed with two levels of soil humidity (SEC, lent conditions, matrix potential > 40, HUM, Caribbean winter conditions, matrix potential < 19). The specific individual grazing area is calculated daily according to the quantity of grass offered and the available biomass. The allocated area is modulated by the chain length. The three offers proposed resulted in a different daily grazing area ($P < 0,001$) (BAS: 23,28 m², HAUT: 34,51 m² and AD LIB: 69,16 m²). These different surfaces involved different levels of dry matter intake with a significantly lower ingestion ($P < 0,05$) for the BAS modality (BAS: 1,59 kg DM / animal / d, HAUT: 2,09 kg DM / animal / j and AD LIB: 2,33 kg DM / animal / day). The organic matter digestibility is also significantly lower for the BAS modality (BAS: 0,67, HAUT: 0,73 and AD LIB: 0,73). The daily intake of soil per animal was measured by the titanium content of the faeces, with titanium being a soil marker ingested due to its high concentration ratio in soil vs grass. The BAS offer induced a higher grazing pressure and resulted in a significantly higher proportion of soil intake than for AD LIB (BAS 1,34%, HIGH 1,12% and AD LIB 0,70 %). The amounts of soil ingested in the BAS and HIGH modalities are significantly higher than those of the AD LIB modality (BAS: 21,04 g / 100 kg BW, HIGH: 20,07 g / 100 kg BW and AD LIB: 14,17 g / 100 kg BW). Indeed, the BAS and HAUT modalities cause higher grazing pressures than for the AD LIB modality and therefore a higher risk of soil ingestion.

Keywords: chlordecone, beef cattle, grazing, humidity, pasture allowance, soil, soil intake, tethering, West indies

Resumen

La clordecona (CLD) es un producto fitosanitario ampliamente utilizado en plantaciones de plátanos entre 1972 y 1993 con el fin de luchar contra el gorgojo del banano *Cosmopolita sordidas*. Prohibido en Francia en 1993, su presencia en los biotopos de los caribeños se destacó en 1999 como consecuencia del descubrimiento de altas concentraciones en el agua potable. En 2005, la AFSSA publicó un informe en el que se reportó la contaminación de los alimentos por el CLD. Desde el uso masivo de este plaguicida en las Antillas francesas, el resultado es una contaminación del suelo a largo plazo. El suelo es la principal vía de contaminación y de transferencia de contaminantes hacia los productos animales. Varios estudios han demostrado que los animales de granja pueden estar expuestos, de acuerdo con varios factores, la ingestión voluntaria o involuntaria de una cantidad significativa de suelo. El sistema de cría de atado ampliamente practicado en Guadalupe es probable de influenciar la ingestión de suelo. Parece necesario cuantificar la cantidad de suelo ingerido por el ganado Criollo atados en condiciones de suelo húmedo y pastos diferentes. El dispositivo experimental consiste en un esquema cruzado con dos niveles de humedad y 3 niveles de oferta de forraje. Doce terneros Criolla se llevaron a cabo en un solo sistema de pastoreo de atado con un desplazamiento de la zona de pastos diaria. Para la completa experiencia cada animal recibió 3 diferentes niveles de oferta de forraje: BAS (100g MS/kg PM/día), HAUT (150g MS/kg PM/día), ADLIB (300g MS/kg PM/día) de acuerdo con dos niveles de humedad de suelo: modalidad HUM (potencial matricial < 19) y modalidad SEC (potencial matricial > 40). El área de pastoreo individuo específico se calcula cada día basa en la alta hierba (HH) y de oferta de forraje. El área asignada es modulada por la longitud de la cadena. Los tres niveles propuestos ofrecen diferentes diaria indujo una zona de pastoreo ($P < 0,001$) (BAS: 23,28 m², HAUT: 34,51 m² y AD LIB: 69,16 m²). Estas superficies han implicado diferentes niveles de ingesta de materia seca con un consumo significativamente menor de alimentación ($P < 0,05$) para el modo BAS (BAS: 1,59 kg de MS / d, HAUT: 2,09 kg de MS / d y AD LIB: 2,33 kg de MS / d). La digestibilidad de la materia orgánica es también significativamente menor para el modo BAS (BAS: 0,67, HAUT: 0,73 y AD LIB: 0,73). ingestión de suelo por los animales y después de días se midió por la cantidad de titanio encuentra en las heces, de titanio de ser un marcador de suelo. Los BAS ofertas ha inducido una mayor presión de pastoreo y los resultados en una proporción de suelo ingerido significativamente mayor que la modalidad AD LIB (BAS: 1,34%, HAUT: 1,12% y AD LIB: 0,70%). Al mirar la cantidad de suelo ingerido se observa que la cantidad de suelo ingerido a las disposiciones BAS y HAUT son significativamente mayor que la de la modalidad de AD LIB (BAS: 21,04 g / 100 kg PV, HAUT: 20,07 g / 100 kg PV y AD LIB: 14,17 g / 100 kg de PV). De hecho, los términos y causar mayores presiones de pastoreo BAS y HAUT para la modalidad AD LIB y por lo tanto un riesgo de ingestión de suelo superior.

Palabras clave: Antillas, atadura, Clordecona, ganado bovino, ingestión de suelo, humedad, oferta de forraje, pastoreo, suelo, tasa de almacenamiento

Table des matières

Résumé.....	3
Summary	3
Resumen.....	3
Table des matières	4
Liste des Tableaux et Figures.....	7
Liste des Abréviations	8
Remerciements	9
Introduction	10
Partie I. Approche bibliographique et contexte général : Du chlordécone à l'élevage : Compréhension d'une pollution à grande échelle sur le sol des Antilles françaises.....	11
Chapitre 1. Le secteur agricole guadeloupéen	12
1. Caractéristiques du milieu.....	12
2. Le secteur agricole guadeloupéen	13
3. Caractérisation de l'élevage bovin	16
3.1. Généralités	16
3.2. Principaux systèmes d'exploitation avec élevage bovin.....	17
3.2.1. Les détenteurs bovins	19
3.2.2. Système polyculture-élevage.....	19
3.2.3. Système éleveurs bovins spécialisés.....	19
Chapitre 2. Le chlordécone, une pollution globale de l'environnement et des populations antillaises.....	20
1. Rémanence de la molécule dans l'environnement	20
1.1. Propriétés physico-chimiques et toxicité du chlordécone.....	20
2. Historique du problème	23
1.2. La production de la molécule aux États-Unis	23
1.3. Son autorisation et son utilisation en France	24
1.4. Prise de conscience au niveau national	25
1.5. Cartographie des zones contaminées	27
Chapitre 3. Contamination des animaux d'élevage par le chlordécone	28
1. Voie principale d'exposition : le sol	28
1.1. Le chlordécone dans le sol.....	28
1.2. Du sol vers les végétaux	31
1.3. Du sol à la ressource en eau	34
1.4. L'ingestion de sol par les animaux d'élevage.....	35
2. Absorption et comportement du chlordécone au niveau de l'organisme	37
3. Voies de dépollution et de décontamination	38

Conclusion de l'approche bibliographique	42
Partie II. Approche expérimentale : Quantification de l'ingestion de sol par des bovins Créoles au piquet selon deux facteurs : l'offre fourragère et l'humidité du sol	43
Chapitre 1. Contextualisation de l'étude	44
1. Le milieu d'étude	44
2. Le projet INSSICCA	45
Chapitre 2. Quantification de l'ingestion de sol par des bovins Créoles au piquet – Effet de l'offre fourragère et de l'humidité du sol	47
1. Objectif de l'étude	47
2. Matériels et méthodes	48
2.1. Animaux utilisés pour l'expérimentation	48
2.2. Les facteurs étudiés	49
2.2.1. Le facteur offre fourragère	49
2.2.2. Le facteur humidité du sol	49
2.3. Le dispositif expérimental	50
2.4. Les parcelles expérimentales	52
2.5. Les mesures à l'échelle de la parcelle expérimentale	54
2.5.1. Calcul des surfaces allouées	54
2.5.2. L'humidité du sol	54
2.5.3. Prélèvements et évaluation de la salissure de l'herbe	55
2.5.4. Prélèvements de bouses et mesures de quantités et de digestibilité du fourrage ingérées	55
2.5.5. Prélèvement de sol	55
2.5.6. Analyse qualité de l'herbe	55
2.6. Analyses et calculs	56
2.7. Les enquêtes de terrains	57
3. Résultats	59
3.1. L'humidité du sol	59
3.1.1. Le score d'humidité du sol	59
3.1.2. Le potentiel matriciel	59
3.2. L'offre fourragère	61
3.2.1. Les photos des ronds de pâturage	61
3.2.2. Caractéristiques de pâturage	64
3.2.3. Qualité du fourrage	64
3.2.4. L'ingestion de fourrage	64
3.3. L'ingestion de sol	65
3.3.1. La salissure de l'herbe	65

3.3.2. Quantité de sol sur le fourrage.....	66
3.3.3. Proportion de sol et quantité de sol ingéré	67
4. Discussion	69
4.1. Humidité du sol.....	69
4.2. Paramètres de pâturage	70
4.3. Ingestion de sol	71
Partie III. Discussion générale : Resituer l'expérience dans le contexte général d'une contamination à long terme	73
1. Résultats des enquêtes de terrain.....	74
2. Évaluation du risque de contamination	75
3. Points forts et limites de l'expérience	77
4. Quelles solutions pour les éleveurs	78
Conclusion générale et perspective	81
Bibliographie	83
Table des annexes.....	88
Index.....	110
Résumé.....	111
Summary	111
Resumen	111

Liste des Tableaux et Figures

Figure 1 : Cartographie des sols de Guadeloupe.....	13
Figure 2: Orientation des exploitations (7000) selon leur typologie.....	14
Figure 3 : Structure du chlordécone	20
Figure 4 : Cartographie de la pollution potentielle en chlordécone	27
Figure 5 : Evolution de la pollution de trois types de sol après apport de CLD de 3 kg/ha/an 1972-1978 et 1982-1993	29
Figure 6 : Facteurs influençant la concentration en CLD dans le sol	31
Figure 7 : Schéma de l'outil d'aide à la décision à partir de l'analyse de sol.....	33
Figure 8 : Identification des étapes critiques du transfert de CLD et stratégies innovantes pour maîtriser ces transferts.....	40
Figure 9 : Mécanismes potentiels de transfert du CLD du sol à la plante pâturée.....	41
Figure 10 : Données météorologiques de la station de Duclos	44
Figure 11 : Schéma organisationnel du projet INSSICCA	46
Figure 12 : Schéma du dispositif expérimental	51
Figure 13 : Parcelles utilisées et caractéristiques des sols	53
Figure 14 : Le score d'humidité du sol à la surface selon le traitement	59
Figure 15 : Mesure du potentiel matriciel du sol selon le traitement.....	60
Figure 16 : Evolution de la proportion de feuille en fonction du traitement.....	61
Figure 17 : Evolution de la classe sol débris en fonction du traitement.....	62
Figure 18 : Niveau de salissure de la zone de pâturage selon le traitement.....	65
Figure 19 : Niveau de salissure de la zone de pâturage selon l'offre	66
Figure 20 : Quantité de sol présente sur le fourrage après pâturage	67
Figure 21 : Quantité de sol ingéré en fonction de l'offre et du traitement	68
Figure 22 : Effet de l'ajout de compost sur la concentration en CLD des radis.....	79
Figure 23 : Concentrations en CLD dans différentes matrices biologiques.....	79
Figure 24 : Cartographie des zones agricoles de la Guadeloupe selon leurs activités dominantes	89
Figure 25 : Evolution du cheptel Guadeloupéen.....	90
Figure 26 : Méthode AFSSA Produits Végétaux et Produits Animaux.....	94
Tableau 1 : Utilisation du territoire	14
Tableau 2 : Principales caractéristiques des systèmes de production en Guadeloupe	18
Tableau 3 : Présentation des différentes études et événements en lien avec le chlordécone ...	26
Tableau 4 : Ordre successif des traitements pour chaque animal	51
Tableau 5 : Planning de mesure sur une période.....	52
Tableau 6 : Granulométrie et teneur en matière organique des sols des parcelles expérimentales.....	53
Tableau 7 : Mesure du potentiel matriciel du sol selon la période.....	60
Tableau 8 : Paramètres de pâturage, d'ingestion et de digestibilité selon l'offre, la période et le traitement.....	63
Tableau 9 : Proportion de sol ingéré en pourcentage de la matière sèche en fonction de l'offre et du traitement.....	67
Tableau 10 : Quantité de sol ingéré par kg de matière sèche exprimée en milligramme.....	68
Tableau 11 : Production agricole en Guadeloupe	89
Tableau 12 : Caractéristiques physico-chimiques du Chlordécone	93
Tableau 13 : zone de pêche interdite et partiellement interdite.....	93
Tableau 14 : Quantités de sol ingéré par différentes espèces de rente	95
Tableau 15 : Informations relatives aux bovins utilisés lors de l'expérience	96

Liste des Abréviations

°C : Degrés Celsius

% : pour-cent

€ : Euro

µg : microgramme

AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments

Acromyrmex octospinosus : Fourmis manioc

ANR : Agence Nationale de la Recherche

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

Brachiaria : herbe de para (Poacée)

BW : *Body Weight*

BRGM : Bureau de recherches géologiques et minières

CALBAS (études) : Comportements Alimentaires dans le sud BASse-Terre

CEC : Capacité d'Echange Cationique

CEMAGREF : Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts

CGGREF : Conseil Général du Génie Rural, des Eaux et des Forêts

CIRAD : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement

CIRC : Centre Internationale de Recherche sur le Cancer

CLD : Chlordécone

cm : centimètres

Cosmopolites sordidus : Charançon du bananier

DAAF : Direction de l'Alimentation, de

L'Agriculture et de la Forêt

DCCRF : Direction de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes

Dichantium sp. : ti-foin (Poacée)

DDCCRF : Direction Départementale de la Concurrence et de la Répression des Fraudes

Digitaria decumbens : Pangola (Poacée)

DGAL : Direction générale à l'alimentation

DHA : *Daily Herbage Allowance* : hectares

DSDS : Direction de la santé et du développement social

DSV : Direction départementale des services vétérinaires

ESCAL : Étude sur la Santé et les Comportements Alimentaires

g : gramme

Gallus gallus : poulet de chair, poule pondeuse

Grepp : groupe régional d'études des pollutions pour les produits phytosanitaires

HCH : HexaChlorocycloHexane

HH : Hauteur d'Herbe IGUAVIE : Interprofession Guadeloupéenne de la Viande et de l'Élevage

IA : Insémination Artificielle

IFREMER : Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

IGAS : Inspection générale des affaires sociales

IGE : Inspection Générale de l'Environnement

IGUAVIE : Interprofession Guadeloupéenne de la Viande et de l'élevage

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

Inserm : Institut national de la santé et de la recherche médicale

InVS : Institut de veille sanitaire

IRD : Institut de recherche pour le développement

ISTOM : Institut Supérieur des Techniques d'Outre-Mer

IVV : Intervalle vêlage-vêlage

J : Jour

JAFA : Jardins Familiaux

kg : Kilogramme

L : litre

LDL : *Low Density Lipoprotein*

Leptinotarsa decemlineata : Doryphore

LMR : Limite Maximale de Résidus

m : Mètre

MAT : Matière Azotée Totale

meq : milliéquivalent

mg : milligramme

mm : millimètre

MF : Matière Fraîche

MO : Matière Organique

MOI : Matière Organique Ingérée

MS : Matière Sèche

MSI : Matière Sèche Ingérée

N : Nord

PCB : Polychlorobiphényles

Phyllocoptruta oleivora : phytopte des agrumes

PIB : Produit Intérieur Brut

PM : Poids Métabolique

PNSE : Plan National Santé Environnement

POP : Polluant Organique Persistant

POSEI : Programme d'option spécifiques à

L'éloignement et à l'insularité

PV : Poids Vif

PF : Poids Frais

PTEA : Plateforme Tropicale d'Expérimentation sur l'Animal

SAU : Surface Agricole Utile

STH : Surfaces toujours en herbe

RESO (étude) : RESidus Organochlorés dans les aliments

t : tonne

Ti : Titane

UE : Union Européenne

UNEP : United Nations Environment Programme

UNESCO : Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture

URAFPA : Unité de Recherche Animal et

Fonctionnalités des Produits Animaux

URZ : Unité de Recherches Zootechniques

W : Ouest

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui ont permis la construction et la réalisation de ce stage, et plus particulièrement les équipes de l'URZ (Unité de Recherches Zootechniques) et de l'URAFPA (Unité de Recherche Animale et Fonctionnalités des Produits Animaux).

Je remercie Monsieur Maurice Mahieu de m'avoir donné cette opportunité et de m'avoir encadré tout au long de mon projet. Un grand merci également à Stefan Jurjanz et Claire Collas pour leur accompagnement, leur disponibilité, leurs conseils et leur soutien. Ils m'ont tous trois permis de réaliser mon stage dans les meilleures conditions possible et je tiens à leur renouveler mes remerciements, car ils m'ont permis de conclure ma scolarité de la plus belle des manières. Je souhaite également remercier Monsieur Harry Archimède pour ses conseils et sa disponibilité tant sur la rédaction de mon mémoire que sur la réalisation de l'expérience.

Je remercie Monsieur Xavier Godard ainsi que Monsieur Ludovic Arthein qui ont été d'une grande aide lors de la réalisation du protocole expérimental. J'ai beaucoup appris à leurs côtés que ce soit pour la gestion d'imprévus ou pour la manipulation des animaux. Leur bonne humeur et leur professionnalisme ont permis sous la direction de Maurice Mahieu, Stefan Jurjanz et Claire Collas de réaliser l'expérimentation, adossée au projet ANR INSSICA-PITE, dans les meilleures conditions. Un grand merci également à Mario Giorgi, Ferdy Nimirf, Frederic Pommier, Bruno Bocage pour leur soutien et leurs encouragements durant le projet, mais aussi pour leur aide précieuse dans l'organisation et la réalisation de l'expérimentation.

Je souhaite également remercier l'équipe du laboratoire de l'URZ, Carine Chevy-Marie-Magdeleine, Suzitte Calif, Dalila Feuillet, Félicité Yoann et Philibert Lucien pour la réalisation des analyses ainsi que pour leur disponibilité et leur aide dans ma gestion des échantillons et la bonne compréhension des méthodes d'analyse. Je tiens également à remercier les laboratoires Chrono Environment et InVivo pour les réalisations des analyses et leur rapidité me permettant d'avoir les résultats disponibles pour la rédaction de ce présent mémoire.

J'adresse mes remerciements à Bérengère Merlot pour sa disponibilité et pour m'avoir permis de participer à plusieurs de ces enquêtes. Nos échanges m'ont permis une meilleure compréhension du contexte d'étude ainsi qu'une vision plus large de la problématique chlอร์ดécone du point de vue des agriculteurs locaux.

Je remercie les membres de l'URZ que j'ai côtoyé durant ces 6 mois de stage : Lucina Abinne, Valérie Angeon, Gisele Alexandre, Jean-Christophe Bambou, Mathieu Bonneau, Louis Fahrasmane, Audrey Fanchone, Mélanie Flainville, Jean-Luc Gourdine, Thomas Loyau, Nathalie Mandonnet, Madly Moutoussamy, Michel Naves, Marie Josée Noël, Maïwenn Prigent, Nadia Romil et Luber Tel.

Je remercie également toute l'équipe des stagiaires et des doctorants pour les moments passés ensemble. Entre moments de détente, fous rires et déjeuner à la cantine je vous remercie. Et plus particulièrement je souhaite remercier Steve Ceriac (pour ses blagues) et Roselyne Rosé pour leurs conseils, leur aide et leur soutien actif durant ces 6 mois de stage.

Pour finir une mention particulière à ma famille et à ma compagne Elsa pour m'avoir soutenu moralement et supporté non seulement durant mon stage, mais aussi durant l'intégralité de mes études.

Introduction

Utilisé dans les bananeraies des Antilles françaises entre 1972 et 1993 contre le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*) le chlordécone est un pesticide organochloré. Chimiquement stable, il a comme particularité d'être non-biodégradable, persistant dans l'environnement, bioaccumulable le long de la chaîne tropique et toxique pour les êtres vivants. De par son mode d'application au pied du bananier le CLD se retrouve principalement dans les sols Antillais. Les principales zones polluées se composent pour la plupart de parcelles anciennement utilisées comme bananeraies. Les caractéristiques de persistances de ce polluant conjuguées aux propriétés physico-chimiques du sol sont la conséquence d'une pollution à long terme des sols (Cabidoche et al., 2009). Interdit depuis 1993 en France le chlordécone est cependant largement répandu dans l'environnement que ce soit dans les sols, dans les eaux souterraines et de surface, dans les produits végétaux ou dans les produits animaux. Et ce n'est qu'en 1999 et sa découverte dans les eaux de consommation qu'une réelle prise de conscience de la problématique s'est faite ressentir. La présence du CLD à long terme dans les sols ainsi que sa biodisponibilité relative proche de 100 % (Bouveret, 2012; Jurjan et al., 2014a) font du sol l'une des principales voies de contamination. Cinq fois plus présent dans les sols que dans les végétaux (Bouveret, 2012) le CLD peut se retrouver dans les denrées végétales ou animales à des concentrations supérieures à la LMR (fixée par l'AFSSA à 20 µg/kg de PF pour les produits alimentaires). D'autre part plusieurs études ont démontré que les animaux d'élevage pouvaient selon certains facteurs ingérer des quantités significatives de sol. Plusieurs travaux (Healy, 1968; Jondreville et al., 2013; Jurjan et al., 2012; Nelson Beyer et al., 1994) ont démontré une ingestion de sol pouvant atteindre jusqu'à 30% de la MS ingérée chez la poule pondeuse, 10% chez la vache en lactation et 6% chez le poulet de chair. Chez le bovin Créole seuls les travaux de Jurjan et al., 2017 ont permis d'estimer une ingestion de sol variant de 4,4 à 9,3% de la MSI dans le cas d'offres fourragères respectivement non-restreinte et restreinte. Cependant en termes de quantité de sol ingéré les résultats sont apparus non significatifs, les animaux non restreints ayant réalisé une ingestion de MS totale significativement plus élevée que celle des animaux restreints. Les travaux ci-dessus ont surtout mis en évidence deux facteurs susceptibles d'impacter fortement l'ingestion de sol par les animaux, l'offre fourragère et l'humidité du sol. L'expérimentation présentée dans ce rapport a donc pour objectif de quantifier l'ingestion de sol par des bovins Créoles au piquet selon deux facteurs, l'humidité du sol et l'offre fourragère.

Dans la première partie de ce rapport sera présenté le contexte général dans lequel s'inscrit l'expérimentation. Un premier chapitre s'intéressera au contexte environnemental ainsi qu'au secteur agricole guadeloupéen et plus précisément à la filière bovine. Un second chapitre traitera de la problématique chlordécone aux Antilles françaises, y seront présentés son historique de fabrication et d'utilisation, ces caractéristiques physico-chimiques ainsi que son impact sur les populations et les écosystèmes Antillais. Un accent particulier sera porté sur le lien entre le chlordécone et la contamination des animaux d'élevage ainsi que sur les enjeux liés à cette contamination. Une deuxième partie sera dédiée à l'approche expérimentale, elle est consacrée à l'expérimentation menée dans le cadre de ce stage. Elle se compose de la présentation du contexte d'étude, de la présentation du protocole expérimentale, de la présentation des résultats et de leur discussion.

Pour finir, le rapport s'achèvera sur une troisième partie discussion générale, elle aura pour objectif de replacer les résultats ainsi que l'étude dans une vision plus large de la problématique chlordécone aux Antilles françaises.

Partie I. Approche bibliographique et contexte général

Du chlordécone à l'élevage : Compréhension d'une pollution à grande échelle sur le sol des Antilles françaises

Partie I. Approche bibliographique et contexte général

Chapitre 1. Le secteur agricole guadeloupéen

1. Caractéristiques du milieu

La Guadeloupe est une région monodépartementale de l’Outre-mer français située dans les Caraïbes (16°15’ N, 61°35’ W). D’une superficie totale de 162 961 hectares ce territoire des Antilles se compose de deux îles majeures, la Grande-Terre et la Basse-Terre et d’îles secondaires qui lui sont rattachées administrativement comme Marie-Galante, l’archipel des Saintes, La Désirade et Petite Terre. Située au plein cœur de l’arc des Petites Antilles entre le tropique de Cancer et l’Équateur elle bénéficie d’un climat tropical maritime sous l’influence des alizés. Ce climat se traduit par une saison sèche dite de « carême » entre janvier et juin et une saison humide dite « hivernage » entre juillet et décembre. La température moyenne y est de 27°C et est marquée par une faible amplitude tout au long de l’année, le régime d’alizé d’Est assurant une ventilation constante. La géomorphologie et le positionnement de la Guadeloupe ont pour conséquence un régime des précipitations très variable, ainsi nous pouvons distinguer quatre zones principales (CIRAD, 2008) :

- La Guadeloupe « sèche » : elle représente la partie calcaire de l’archipel (Grande-Terre, Marie-Galante). Les précipitations moyennes sont de l’ordre de 1500 mm par an ;
- La Guadeloupe « humide » : positionnée entre la Grande-Terre orientale et la Basse-Terre montagneuse, la pluviométrie annuelle se situe entre 1500 et 2000 mm ;
- La Guadeloupe « hyper-humide » : tout le massif volcanique de la Basse-Terre, situé au-dessus de 200 mètres reçoit une moyenne annuelle de plus de deux mètres ;
- La côte sous-le-vent (côte Caraïbe), à l’abri des alizés, est quant à elle relativement sèche.

La moyenne annuelle pluviométrique en Guadeloupe se situe entre 1000 et 5000 mm annuelle selon la région (Météo France, 2017). Le taux d’humidité varie entre 50 et 100% et l’évapotranspiration moyenne est supérieure à 3,5 mm.j⁻¹ (Lastel, 2015). La Guadeloupe se caractérise également par sa grande diversité de sols dont les principaux sont (CIRAD, 2008) (Figure 1) :

- Les oxisols : ces sols ferrallitiques sont profonds, très argileux, friables, perméables et pauvres en éléments chimiques ;
- Les vertisols : ces sols sont compacts et ont des propriétés de gonflement, avec de larges fissures observées en saison sèche ;
- Les sols à allophane (andosols) : lorsque ces sols sont desséchés en surface, on observe la formation de substances argileuses très particulières nommées allophanes, dont les propriétés de rétention d’eau sont considérables (jusqu’à 300% du poids du sol sec) ;
- Les sols brun-rouille à halloysite (nitisols) : présence d’une argile particulière, l’halloysite, la fertilité naturelle y est bonne ;
- Les ensembles dérivés de calcaires coralliens (entre Grande-Terre et Marie-Galante). On y trouve les sols calcimorphes à tendance vertique, des vertisols comparables à ceux de la Basse-Terre, et encore des vertisols à hydromorphie temporaire ou permanente, qu’on trouve uniquement dans les plaines basses et mal drainées ;
- Les sols d’alluvions.

Les conditions pédoclimatiques particulières de la Guadeloupe contribuent à une forte variabilité de répartition des productions végétales et animales selon les zones. La Basse-Terre fortement irriguée concentre ainsi les productions de banane, de canne à sucre (un quart de la production) et l'essentiel de l'élevage monogastrique. La Grande-Terre quant à elle se caractérise par des productions maraîchères, vivrières, de cannes à sucre et de quelques prairies. En raison d'une forte pluviométrie, l'élevage de ruminants en Basse-Terre est confronté à des difficultés de pâturage (piétinement, pression parasitaire et faible qualité des fourrages). En Grande-Terre c'est la période sèche qui pose problème entraînant alors des déficits en fourrage (Galan et al., 2008). Dans la prochaine partie, nous caractériserons le secteur agricole guadeloupéen et plus particulièrement la filière bovine en lien direct avec notre projet expérimental.

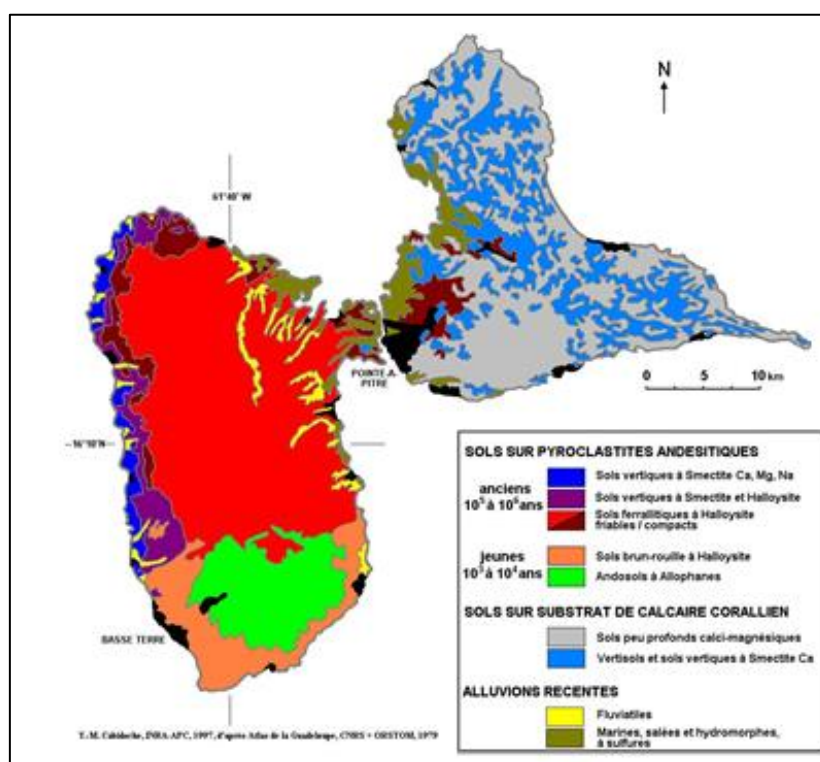


Figure 1 : Cartographie des sols de Guadeloupe (INRA-Unité de recherche Agropédoclimatique de la Zone Caraïbe, Cabidoche 2008)

1. Le secteur agricole guadeloupéen

Selon les travaux de (Dubuc, 2004) le département de Guadeloupe est composé de 19 zones agricoles bien distinctes ([ANNEXE 1](#)). Les principales zones agricoles sont le Nord Grande-Terre, les Grands-Fonds, la zone côtière Sud et Est Grande-Terre, le Nord Basse-Terre, la Côte-au-Vent Est et Marie-Galante (Dubuc, 2004). A elles seules ces zones représentent les trois quarts des actifs du secteur. Avec 52 733 ha de SAU et 7000 exploitations la filière agricole représente 12% de la population active (dont 57%¹ de chef d'exploitation, 10%¹ de main d'œuvre familiale et 10%¹ de saisonnier) de Guadeloupe et contribue pour 6% au PIB régional. La surface agricole est majoritairement utilisée par les cultures de rentes que sont la canne à sucre et les cultures fruitières. L'utilisation du territoire est présentée dans le [Tableau 1](#) ci-dessous.

¹ Calculée en unité de travail annuelle

Utilisation du territoire	Hectares
Canne à sucre	13 893
Cultures légumières	1 806
Cultures fruitières	3 110
Surfaces toujours en herbe des exploitations	9 537
Divers	2 619
Surface agricole utilisée des exploitations	30 965
Jardins et vergers	4 500
Surface toujours en herbe hors exploitations	17 268
Surface agricole utilisée du département	52 733
Surfaces boisées	71 538
Autres terres	38 690
Surface totale du département	162 961

Tableau 1 : Utilisation du territoire (AGRESTE 2016)

Avec une surface moyenne de 4,4 ha à l'échelle régionale les petites exploitations (3 ha en moyenne) marquent le paysage agricole guadeloupéen. Elles représentent environ 83% des exploitations, 50% de la SAU et 55% de la main d'œuvre totale. Les grandes exploitations (30 ha en moyenne) et moyennes exploitations (7 ha en moyenne) représentent respectivement 4 et 13% des exploitations pour 25 et 23% de la surface agricole. Environ 80% des exploitations sont spécialisées dans une production végétale ou dans une combinaison de productions végétales. Environ 50% des exploitations de petite taille sont spécialisées dans la culture de canne à sucre (programme de replantation des surfaces) tandis que 84% des grandes exploitations, 44 % des exploitations moyennes et 12% des petites exploitations se sont tournées vers des secteurs avec une plus forte valorisation à l'hectare comme la banane, le maraîchage ou l'élevage hors sol (Figure 2).

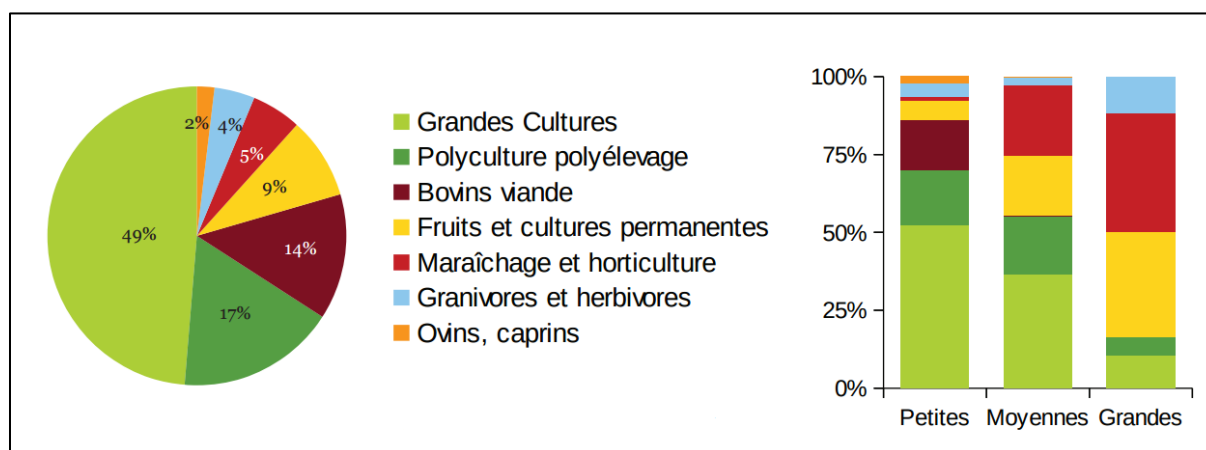


Figure 2: Orientation des exploitations (7000) selon leur typologie (AGRESTE, enquête sur la structure des exploitations)

En termes de production brute standard à l'hectare les grandes exploitations ont une valeur à l'hectare 4 fois supérieure à celle des petites exploitations (2 500 €/ha contre 10 000 €/ha). La moyenne d'âge des chefs d'exploitation est de 53 ans et la majorité (96%) a le statut d'individuel (Agreste, 2017). Un autre élément illustrant la particularité du secteur agricole guadeloupéen, est la pluriactivité. En 2006 plus de 10 000 détenteurs de bovins ont été recensés (Galan et al., 2009). En 2005 un rapport du gouvernement fait apparaître que 45% des chefs d'exploitation sont pluriactifs.

La filière agricole guadeloupéenne est jeune et en pleine mutation, elle fait face à des difficultés d'ordres structurelles (oligopole de distribution, taille réduite des marchés, faible pouvoir d'achat, individualisme des producteurs, absence de formation, coût de production élevé, ...) et conjoncturelles (Galan et al., 2009). Entre 2000 et 2010 le département a connu une chute de sa SAU de 25% (de 41 522 ha à 31 400 ha), une régression du nombre d'exploitations de 36% passant de 12 099 en 2000 à 7 852 en 2010 et pour finir la part de la population active a perdu 40% (Agreste, 2017). Plusieurs causes sont responsables de ce déclin prématuré comme la régression de la filière banane (69% entre 2000 et 2010), des départs à la retraite non remplacés, la déprise agricole, la concentration du foncier et l'urbanisation (Lastel, 2015). Comme nous venons de le voir, la production végétale occupe une place centrale dans le secteur agricole guadeloupéen (environ 80 % du chiffre d'affaires du secteur) tandis que l'élevage occupe une place secondaire (20 % du chiffre d'affaires du secteur) ([ANNEXE 2](#)). La production végétale regroupe environ 2/3 des exploitations agricoles du département avec une nette domination des cultures d'exportation : la banane et la canne à sucre. A elles seules elles représentent 52% (16% pour la banane) de la SAU totale pour une valeur ajoutée de 17% pour la banane et 16%² pour la canne à sucre (IEDOM, 2015). La canne à sucre est cultivée dans 55% des exploitations dont 84% sont classés dans la catégorie « grandes cultures » et 43% spécialisées dans sa culture. Ce qui en fait l'espèce la plus cultivée loin devant la banane. Deuxième espèce la plus cultivée la banane est présente dans 10% des exploitations et les exploitations la cultivant sont plus hétérogènes. Cependant depuis 1989 le nombre d'exploitations cultivant de la banane a chuté de 73% tandis qu'entre 2000 et 2010 la proportion de la SAU en canne à sucre a progressé de 12% (Agreste, 2017). Le libre-échange, l'émergence de pays producteurs en Amérique Latine et l'interdiction du chlordécone sont trois facteurs qui ont amorcé le déclin de la banane au profit d'autres cultures. Toutefois elle reste soutenue par les politiques publiques et sa progression reprend lentement (+6,4% d'exportations en 2016) (Lastel, 2015). Le déclin de la filière banane a également permis le développement d'autres productions fruitières à plus forte valeur ajoutée à l'hectare comme les agrumes et l'ananas. En 2015, sur le total des aides (148 millions d'euros) destinées au secteur agricole dans le cadre du Programme d'options spécifiques à l'éloignement et à l'insularité (POSEI) la filière banane a reçu 32 millions d'euros, la canne à sucre 18 millions d'euros (plus 28 millions d'aides nationales) et l'élevage 9 millions d'euros (IEDOM, 2015).

Avec une chute entre 2006 et 2016 de 23% du cheptel bovin, de 34% pour le cheptel ovin, de 64% pour le cheptel caprin, de 36% pour le secteur porcin et une régression de son chiffre d'affaires annuelle de 8,9% la filière animale a été la plus impactée par le déclin du secteur agricole (Agreste, 2017) ([ANNEXE 3](#)). Sur cette même période, l'élevage de volailles *Gallus gallus* est resté stable et est même en hausse depuis 2013. Les dysfonctionnements de la filière, l'urbanisation et à moindre mesure les vols sont responsables de cette régression importante (Lastel, 2015). Malgré le tableau que nous venons de dresser, l'élevage fait partie intégrante du système agricole guadeloupéen. Nous retrouvons l'élevage majoritairement dans les exploitations de petite taille où il constitue un produit d'épargne. Son rôle dans l'emploi est essentiel dans un département où le taux de chômage représente 23,7 % de la population active (Insee, 2014). Ce secteur s'est progressivement développé depuis les réformes foncières qui ont eu lieu dans les années 1970 et 1980. Cependant comme nous l'avons vu son essor reste complexe et difficile (Galan et al., 2009). Suite à cette crise, la filière animale a connu depuis les années 2000 une profonde restructuration. Elle a abouti notamment par la création de l'interprofession guadeloupéenne de la viande et de l'élevage (IGUAVIE) réunissant producteurs, distributeurs et transformateurs.

² Hors sucre et rhum

En 2015, la Guadeloupe compte plusieurs abattoirs pour le gros bétail (bovins, porcins et petits ruminants), l'abattoir du Moule qui concentre 96 % de la production locale, et l'abattoir de Marie-Galante et quatre abattoirs lapins/volailles. En 2015, l'abattage de bovins représente 1 628 tonnes (baisse de 5,8%) celui de porcins 1 200 tonnes (diminution de 3,6%) et celui des volailles représente 620 tonnes. Ainsi en termes d'importance ce sont les élevages bovins, porcins, caprins et ovins qui dominent la filière (13% de la production agricole). Avec un cheptel de 45 988 têtes les bovins sont les plus représentés ensuite viennent les porcins avec un effectif de 14 619 individus puis les caprins avec 8 959 têtes et pour finir les ovins avec un cheptel de 1 459 animaux. Environ trois quarts des exploitations possèdent un élevage avec une dominance de l'espèce bovine. En Guadeloupe l'élevage relève de la tradition, beaucoup de foyers possèdent un petit élevage alors qu'ils ne sont pas issus du monde agricole, ainsi en 2006 pas moins de 10 000 détenteurs de bovins sont recensés (Galan et al., 2009). Malgré le soutien du gouvernement, les productions issues des abatages contrôlés ne suffisent pas à couvrir la demande régionale. En 2015 selon les chiffres de l'IGUAVIE les importations représentent 87,2% de la consommation en produits carnés avec une dominance des produits congelés (94,3%). L'objectif étant d'atteindre l'autosuffisance alimentaire sur le territoire, l'acquisition de nouveaux matériels spécifiques pour les ateliers de découpe et la lutte menée par les services vétérinaires contre l'abattage clandestin sont apparus nécessaires. Le secteur agricole fait aujourd'hui face à de nombreux défis et sa restructuration passe par une meilleure organisation de la filière, mais aussi par le développement d'une agriculture plus respectueuse de son environnement. En raison de son importance économique et culturelle, mais aussi parce qu'elle est en lien direct avec notre étude nous nous concentrerons dans le prochain chapitre à caractériser la filière bovine en Guadeloupe. Touché par une profonde transformation économique et sociétale le secteur agricole guadeloupéen connaît de nombreuses difficultés. Ne représentant que 3% des richesses créées sa part dans l'économie régresse peu à peu. Cependant le fort soutien des politiques publiques et son ancrage dans la culture guadeloupéenne contribuent à redynamiser le secteur. Outre les difficultés structurelles et conjoncturelles auxquelles elle fait face, l'agriculture guadeloupéenne est confrontée depuis plusieurs décennies à un problème majeur, la pollution durable de l'environnement par le chlordécone. Contaminant à forte dose les produits végétaux et animaux la crise du chlordécone a un impact important sur la situation économique des agriculteurs. Saisies à l'abattoir ou interdiction de mise en marché viennent s'ajouter à la liste des contraintes. Nous verrons dans un prochain chapitre quelles sont les mesures mises en place afin de gérer cette crise et leurs impacts sur les filières agricoles de Guadeloupe.

2. Caractérisation de l'élevage bovin

3.1. Généralités

L'élevage bovin fréquemment qualifié de « diversification » est présent dans la moitié des exploitations et occupe environ 30 à 45% de la SAU antillaise (Galan et al., 2009). Historiquement l'élevage de bovins est profondément ancré dans la culture antillaise, utilisé dans la récolte de canne à sucre et les travaux de labours principalement. Avec ce type d'utilisation et le morcellement du foncier le mode d'élevage au piquet trouva tout son sens. Nécessitant peu d'investissement il représentait une source de facilité pour l'agriculture lui permettant de se consacrer à ses travaux de cultures, principale source de revenus. Encore aujourd'hui ce mode d'élevage est largement pratiqué par les « détenteurs bovins » dont l'élevage constitue un produit d'épargne. Ce type d'élevage représente actuellement 90% des éleveurs bovins, cette conduite permet notamment aux éleveurs de valoriser de petits espaces de pâturage (Naves et al., 2001).

Les premiers bovins ont été importés entre le XVI^e et XVII^e siècle, d'origines ibériques. Au fil des générations la sélection naturelle a fait son œuvre et sous l'influence des facteurs du milieu des races rustiques on fait leur apparition comme les races locales Créoles, *Bos Taurus* (10 500 vaches), les races croisées (10 800), et *R. Taurines Fr.* (200 vaches) (Lastel, 2015). La naissance d'un grand nombre de races a été regroupée sous le rameau des races Créoles de la région Amérique-Caraïbes par la FAO (Naves et al., 2011). Aujourd'hui le bovin de type Créole représente 45% du cheptel bovin (31 000 têtes) et contient des gènes à 38% de zébus, de 36% de taurins Africains et à 26% de taurins sud-européens (Naves et al., 2011). De ce brassage génétique en résulte une forte capacité d'adaptation aux conditions climatiques de la Guadeloupe, une forte résistance au parasitisme, une capacité à supporter des périodes de diètes alimentaires et des bonnes performances de reproduction (fertilité comprise entre 80 et 90% et bonne capacité de vêlage) (Naves et al., 2001). Outre ces bonnes capacités d'adaptation et de reproduction, la race Créole de Guadeloupe possède également de bonnes performances de production pour une race rustique.

L'élevage bovin n'était pas une filière commerciale, il était principalement utilisé comme moyen de traction ou comme produit d'épargne. Ce n'est que récemment que l'élevage commercial fit son apparition. Il s'est développé suite à la seconde réforme foncière et la mise en place de groupements fonciers agricole (GFA) sur les anciennes terres des usines sucrières. Le fort lien de l'élevage au foncier rend la filière particulièrement sensible à la pression démographique. L'élevage bovin est destiné exclusivement à la production de viande (5 vaches laitières lors du recensement de 2016) (Agreste, 2017). Au niveau de la typologie des exploitations 60% du cheptel reproducteur est détenu par des exploitations inférieures à 5 vaches pour une production de viande de 45%. Les cheptels de 5 à 20 vaches représentent 38% du cheptel reproducteur pour une part de 40% dans la production de viande. Le reste du cheptel reproducteur est détenu par des exploitations supérieures à 20 vaches. Le cheptel bovin est détenu par 10 900 détenteurs bovins avec des systèmes d'exploitation différents que l'on va caractériser dans la partie qui suit (Galan et al., 2009).

3.2. Principaux systèmes d'exploitation avec élevage bovin

Les systèmes polyculture-élevage de petite taille sont prédominants en Guadeloupe. Comme nous l'avons vu dans les parties précédentes, les petites exploitations dessinent le paysage agricole. Au niveau départemental 85% de la production locale de viande est réalisée par des exploitations inférieures à 11 vaches. D'après les travaux de (Galan et al., 2009) nous pouvons distinguer trois principaux systèmes d'élevage : les détenteurs bovins, les systèmes polyculture-élevage et les systèmes spécialisés (Tableau 2).

PARTIE I. APPROCHE BIBLIOGRAPHIQUE ET CONTEXTE GENERAL

Catégorie	Détenteurs bovins	Systèmes polyculture élevage		Systèmes spécialisés
		Éleveurs canniers	Polyculture élevage	
Localisation	Sur l'ensemble de la Guadeloupe	Nord Basse-Terre et Grand-Terre	Nord Basse-Terre et Grand-Terre	Sud Basse-Terre, centre Grande Terre
Importance de l'activité	Secondaire	Secondaire, activité principale (canne à sucre)	Principale (50-50 avec les cultures à forte valeur ajoutée)	Principale (EARL)
Objectif de production	Épargne sur pied, reconnaissance sociale	Complément revenu, valorisation sous-produits et capitalisation progressive	Forte valeur ajoutée	Occupation des surfaces et revenu de l'exploitant
Âge moyen	> 45 ans	50 ans	< 45 ans	
Main d'œuvre	L'éleveur	Chef d'exploitation et saisonnier	Exploitant + salarié	Exploitant + salarié
Cheptel reproducteur moyen	3-5 vaches	5 à 15 vaches		> 25 vaches
SAU moyenne	< 2 ha	8-12 ha (50% canne et 50% prairie)	8-15 ha (55% en STH)	20-40 ha
Niveau de performance technique	Faible et variable : 0,35 veau sevré/vache/an	Variable : 0,65-0,7 veau sevré/vache/an	0,7-0,75 veau sevré/vache/an	0,65-0,7 veau sevré/vache/an
Viabilité économique	Complément de revenu (<3000€/an)	15 000-20 000 €	> 20 000€	
Conduite d'élevage	Au piquet, pâturage ou fourrage en saison sèche et pas de suivi sanitaire	Pâturage tournant (vache) et au piquet (mâle), apport concentré et sous-produits canne. Suivi sanitaire	Pâturage tournant + apport de concentrés. Suivi sanitaire	Pâturage tournant avec complémentation + fourrage
Type racial	Race Créole, croisée	Créole et génisses croisées	Créole et génisses croisées	Races européennes
Conduite de la reproduction	Insémination artificielle (IA) ou monte naturelle	Monte naturelle (Croisement x races européennes)	Monte naturelle (Croisement x races européennes)	Monte naturelle par taureau importé
Équipements	Chaînes et piquets	Parcelles clôturées, chaînes et piquets	Parcelles clôturées, irrigation, table alimentation	Parcelles clôturées, contention et mécanisation
Produits commercialisés	Mâles > 36 mois	Mâle (30-36 mois) et femelle (< 24 mois)	Taurillons de 24-28 mois	Jeunes taurillons
Mode de commercialisation	Autoconsommation, voisinage, bouchers	Aux maquignons (revendeurs) ou filières organisées	Filière longue	Filière organisée
Part dans la production	30%	65%		5%
Part dans le cheptel	50%	20%	20%	10-15%
Part des propriétaires bovins	70%	10%	10%	10-15 exploitations
Contraintes d'évolution	Réglementation, accès au foncier, forte astreinte quotidienne	Extension foncière	Pression foncière et accès au capital	Capitaux et foncier élevé

Tableau 2 : Principales caractéristiques des systèmes de production en Guadeloupe (Galan et al., 2009)

3.2.1. Les détenteurs bovins

Le mode d'élevage pratiqué est celui au piquet permettant aux éleveurs de valoriser de petites surfaces fourragères. Ce mode d'élevage permet par exemple à des éleveurs n'ayant pas accès au foncier de faire pâturer leurs animaux. En saison sèche lorsque la repousse des zones pâturées est limitée les agriculteurs procèdent à un affouragement. Pour cette catégorie, l'élevage ne constitue pas un élément de spéculation, mais plus un produit d'épargne leur permettant de faire face à des périodes difficiles. Il n'y a donc pas d'objectifs technico-économiques bien définis. Un autre élément important vient de la culture, beaucoup de personnes ont un petit élevage car cela relève de la tradition familiale (autoconsommation). Au niveau du schéma de reproduction les femelles sont remises à la reproduction seulement après le sevrage du jeune veau. Comme nous l'avons vu ce type d'élevage constitue une épargne pour les « détenteurs », la mise en marché est très opportune et les animaux vendus de types très différents (allant du veau sevré au taurillon de 36 mois). Généralement les animaux sont vendus en « vif ³ » à des engraisseurs. Le nombre important de ces « détenteurs » leur confère un poids non négligeable dans l'élevage (30% de la production) antillais, mais rend difficile la structuration de la filière (Galan et al., 2009). Dans cette catégorie l'autoconsommation ainsi que la vente via les marchés informels est importante.

3.2.2. Système polyculture-élevage

L'élevage vient souvent en complément des cultures de rente comme la banane ou la canne à sucre, de cultures vivrières ou des cultures maraichères (Galan et al., 2009). Le type d'atelier est naisseur-engraisseur (Galan et al., 2009), avec pour la plupart des ventes de taurillons à l'âge de 24 mois. Au sein de cette catégorie nous pouvons distinguer deux sous-groupes, les éleveurs canniers et les éleveurs avec un système végétal de type polyculture. Généralement la prairie représente la moitié de la SAU. Pour les éleveurs canniers la gestion des prairies est peu présente (forte valorisation des sous-produits de la canne à sucre), le pâturage au piquet sur des prairies naturelles de *Dichanthium sp.* est le plus souvent pratiqué. La reproduction est caractérisée par un rythme lent avec un IVV⁴ de 16 mois environ. Dans ce sous-groupe la place de l'élevage est minoritaire tandis que pour les éleveurs de type polyculture la place de l'élevage est croissante. Les bénéfices dégagés par les productions à forte valeur ajoutée (ananas, melon, agrume, ...) sont directement réinvestis dans le pôle élevage. En résultent une gestion et un entretien des prairies ainsi qu'un investissement supérieur en matériel et bâtiment (boxe d'engraissement, parcelles clôturées). Les éleveurs cherchent à optimiser au maximum leur production et l'élevage est considéré comme une valeur ajoutée supplémentaire (Lastel, 2015).

3.2.3. Système éleveurs bovins spécialisés

Ce type d'exploitation est plus rare en Guadeloupe et ne représente que 5% de la production de viande du département. Ces systèmes sont exclusivement herbagers avec des prairies plantées en graminées (mieux adaptées au mode d'exploitation). Ainsi nous retrouvons principalement l'espèce *Brachiaria* et l'espèce *Digitaria decumbens*. Cette catégorie d'éleveurs se retrouve principalement en Basse-Terre où elle occupe d'anciens domaines bananiers. Outre les prairies, l'alimentation est basée sur l'apport de fourrage, d'herbe ou de maïs et sur l'apport de concentrés du commerce distribués principalement aux jeunes veaux.

³ Animaux vendus sur pied

⁴ Intervalle vêlage-vêlage

Les races sont principalement des races de type européen comme la limousine ou la blonde d'Aquitaine. Malgré leur faible part dans la production de viande ils représentent tout de même entre 10 et 15% du cheptel (Galan et al., 2008).

L'agriculture guadeloupéenne est très riche et diversifiée au niveau des productions. Elle tire ses principales caractéristiques de son histoire et de sa culture. Les cultures d'exportation (banane et canne à sucre) et les cultures à forte valeur ajoutée (ananas, agrume, ...) dominent le paysage agricole cependant l'élevage y occupe une place majeure. Que ce soit au niveau de la production végétale ou animale la filière repose majoritairement sur des exploitations de petite structure. Culturellement la plupart des foyers possèdent son petit élevage ou son petit coin de maraîchage. Ces pratiques culturelles ainsi que le schéma agricole actuel favorisent l'autoconsommation ainsi que la vente de produits par le biais de marchés informels. Dans un contexte d'une contamination globalisée de l'environnement par le chlordécone ce type de pratiques favorise l'exposition de la population. Nous allons donc étudier dans le chapitre suivant le cas de la pollution par le chlordécone aux Antilles françaises. Dans un premier temps nous dresserons un historique de cette molécule et des mesures mises en place afin de gérer cette pollution. Ensuite dans un objectif de mieux comprendre le risque d'exposition par la population nous allons étudier les voies de contamination. Pour finir et dans le but de faire la transition avec notre projet expérimental nous allons étudier la contamination des animaux d'élevage et plus précisément la contamination via l'ingestion de sol. L'absorption, la distribution, le métabolisme et l'excrétion du CLD chez les animaux d'élevage seront étudiés. En raison du faible nombre de travaux existants sur les bovins nous étudierons ces différentes thématiques via des études réalisées sur d'autres espèces animales.

Chapitre 2. Le chlordécone, une pollution globale de l'environnement et des populations antillaises

1. Rémanence de la molécule dans l'environnement

1.1. Propriétés physico-chimiques et toxicité du chlordécone

De formule chimique $C_{10}Cl_{10}O$ le chlordécone plus connu sous le nom de Kepone ou Curlone (nom commercial) est un composé organochloré. Considéré comme pesticide de première génération (Fintz, 2009) le CLD est un solide cristallin et inodore. La molécule est très stable de par sa structure homocubane et le nombre d'atomes de chlore qu'elle possède (Lesueur-Jannoyer et al., 2012). En effet, sa structure en cage (Figure 3) (atome de carbone entouré par les atomes de chlore) lui confère un fort pouvoir rémanent (Le Déaut et Procaccia, 2009). Résistant et polyvalent le CLD est la cause d'une rupture biologique au sein de l'environnement (Kermarrec, 1980; Woignier et al., 2014).

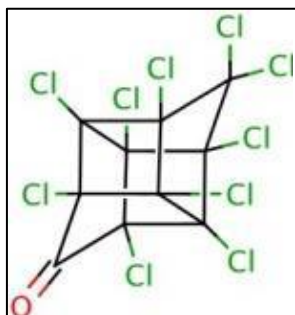


Figure 3 : Structure du chlordécone

Une forte affinité pour la matière organique et le carbone du sol (Koc de 2500 à 17500 L/kg selon le type de sol) (Cabidoche et al., 2009; Fernandes et al., 2010; Lesueur-Jannoyer et al., 2012; Saaidi, 2014; Woignier et al., 2014), une lipophilicité faible, une faible volatilité (pression de vapeur de 0,225 10⁻⁶ mm Hg à 25°C) et une faible solubilité (solubilité, S= 0,2 g/L) (Lesueur-Jannoyer et al., 2012; Woignier et al., 2014) caractérise le chlordécone. Du fait de sa structure et de sa taille moléculaire, il serait majoritairement adsorbé sur les matières organiques par des liaisons de faible énergie. Cependant, son affinité pour la matière organique dépendrait de la composition de cette dernière et notamment de son contenu en composés aromatiques (Lesueur-Jannoyer et al., 2012). Il est également peu dégradé par voie aérobie (Macarie, 2014a). S'accumulant dans les chaînes alimentaires à partir de concentrations dans l'eau aussi faibles que 0,023 µg/litre et se concentrant dans la chaîne alimentaire à des facteurs de concentration relativement élevés (2900 à 60000 pour différents poissons d'eau douce et de 3000 à 13000 pour des crustacés) le CLD est présent tout au long de la chaîne tropique (Cabidoche et al., 2006; Lesueur-Jannoyer et al., 2012). Enfin plusieurs études ont montré que sa biodisponibilité dans les animaux d'élevage et ceux quel que soit le type de sol est proche de 100 % (Bouveret, 2012; Jondreville et al., 2013; Jurjanz et al., 2014a; Mahieu, 2014). L'[ANNEXE 5](#) présente une fiche synthétique des principales caractéristiques du CLD.

Au niveau de sa toxicité les premiers symptômes observés sur l'homme sont ceux des ouvriers de Hopewell, qualifié de « syndrome du chlordécone » ils se manifestaient par des troubles neurologiques, oculaires, par une perte de poids et par une perturbation de l'appareil testiculaire (Bouveret, 2012). Ainsi en 1979 le CLD fut inscrit à la classe 2B (cancérogène possible) par le centre international de recherche sur le cancer. Exposé à une contamination aiguë les symptômes apparus chez les ouvriers étaient exceptionnels. Dans son rapport (2007) le professeur Belpomme établit un lien de causalité à effet entre la présence des pesticides et le taux élevé de cancer de la prostate, de malformations congénitales et de stérilité. Devenu un sujet médiatique d'importance nationale l'InVS dément les affirmations faites dans ce rapport sans toutefois les nier. Quelques semaines après le rendu public de son rapport M. Belpomme avouera l'inexactitude de certaines affirmations. Pression médiatique ou simple manque de rigueur le rapport du professeur a toutefois soulevé une question importante. L'étude HIBISCUS (femmes enceintes et leur nourrisson) montrera que le CLD est présent dans 90% des échantillons de sang maternel et du cordon et dans 40% des échantillons de lait maternel. Il faudra attendre 2010 et l'étude Karuprostate menée par M. Multigner pour prouver l'existence d'une corrélation entre l'exposition au CLD et la prévalence du cancer de la prostate (Multigner, 2014). Cependant chez l'homme tout comme chez l'animal l'excrétion du CLD est rapide dû à la présence de l'enzyme chlordécone réductase dégradant celui-ci en métabolites secondaires. Chez les animaux les effets observés suite à une exposition chronique ou aiguë sont des tremblements, une hyperexcitabilité, des atteintes hépatiques et rénales et des effets reprotoxiques. Aucun effet sur la ponte n'a été observé mais il semblerait que la fonction de reproduction soit affectée chez la poule et la caille (Jondreville et al., 2014).

Kermarrec et Snegaroff (1980 et 1977) furent les premiers à mettre en évidence une pollution du biotope antillais par le chlordécone. N'ayant eu qu'un faible impact à l'époque il fallut attendre 1999 avant que les choses n'évoluent. Découvert en forte concentration dans l'eau potable le chlordécone est reconnu comme une priorité sanitaire par l'état. La mise en place d'une filtration par charbon actif est efficace et 99% des eaux de consommation distribuées sont conformes aux limites réglementaires de pesticides⁵. En 2002, l'IFREMER a mis en évidence la contamination de plusieurs organismes marins.

⁵ Décret n° 2001-1220 du 20 décembre 2001

Mme Béatrice fait l'observation d'une bioaccumulation et d'une bioconcentration du CLD le long de la chaîne tropique. Elle montrera également que 15% des rivières ont une concentration supérieure à 5 µg/L et que 25% de ces dépassements ont mis en cause le CLD. (Pascal-Lorber et al., 2016) parlera même d'une bioamplification du CLD le long de la chaîne tropique. Les travaux de recherche de Monti (2005) montreront que 92% des poissons et crustacés échantillonnés sont contaminés avec une forte variabilité individuelle (entre 20 et 200 µg/ kg PF) et selon les organes (le foie étant l'organe le plus contaminé). La suite de ses recherches a démontré que la faune aquatique d'eau douce était la première impactée (teneur en CLD retrouvée supérieure à celles des espèces marines). Suite à ces observations plusieurs zones de pêche ont été interdites, à la fois au niveau des eaux continentales que marines ([ANNEXE 6](#)). Au niveau continental le chlordécone se retrouve dans les rivières comme nous venons de le voir, mais aussi dans les nappes souterraines. Elles alimentent les sources, soutiennent le débit des rivières en période de basses eaux ou résurgent directement à la côte (Cabidoche, 2011; Crabit et al., 2016). Le secteur agricole est particulièrement touché par cette crise du chlordécone, nous verrons dans la partie suivante que les végétaux et les animaux d'élevage sont fortement exposés à une contamination.

En 2012 un contrôle aléatoire sur bovins élevés en zone polluée a montré que 30% des échantillons étaient contaminés dont 5 à 10% présentaient des teneurs supérieures à la LMR (20 µg/kg PF) (Mahieu et al., 2012a). En 2013 sur 631 animaux contrôlés à l'abattoir 31 % sont contaminés dont 5% dépassent la LMR (Mahieu, 2013). Selon les travaux de Lastel (2011) environ 12% des ruminants ont une concentration en CLD supérieure à la LMR. Ces contrôles se sont révélés insuffisants depuis 1999 en grande partie en raison du manque de laboratoires locaux capables d'analyser des concentrations en chlordécone. À cette même date seul le laboratoire de la Drôme est capable de détecter le chlordécone (Le Déaut et Procaccia, 2009). Le premier laboratoire guadeloupéen remplissant cette fonction n'a été opérationnel qu'en 2009 (laboratoire de Jarry). L'[ANNEXE 7](#) fournit plus de précisions sur la méthode d'analyse et de quantification du chlordécone. Nous allons voir qu'une des principales sources de contamination des produits végétaux et animaux est le sol. Le stock en CLD retrouvé dans le sol est 2 à 3 fois supérieur à celui des eaux ou des aliments (Mahieu, 2013). Le modèle de Cabidoche (2009) estime la présence du chlordécone dans les sols antillais de plusieurs décennies à plusieurs siècles selon le type de sol. La composition du sol ainsi que sa structure sont deux éléments expliquant cette forte pollution des sols. Ainsi cette rémanence du chlordécone dans les sols antillais contribue à la pollution de l'ensemble du biotope et à une exposition importante de la population locale. Cette contamination a également un très fort impact sur l'économie des exploitations ainsi que sur leurs stratégies d'élevage ou de culture (Macarie, 2014a). À l'inverse nous verrons également que les pratiques agricoles ont un grand rôle à jouer dans la réduction de l'exposition à la contamination par le chlordécone. Pour ces diverses raisons des programmes ont été mis en place afin de limiter l'exposition de la population comme le programme Jafa qui est décrit en [ANNEXE 8](#).

2. Historique du problème

1.2. La production de la molécule aux États-Unis

Synthétisée pour la première fois aux États-Unis en 1951 et breveté en 1952⁶ le chlordécone est un organochloré de formule chimique $C_{10}Cl_{10}O$ (CAS Registry Number 143-50-0) appartenant à la classe des pesticides cyclodiènes (Kermarrec, 1980; Macarie, 2014a). Il a été commercialisé pour la première fois en 1958 par la société « Allied Chemical » sous le nom de Kepone® et de GC-1189®. Entre 1958 et 1976, date de son interdiction aux États-Unis, on estime à 1600 tonnes la production de matière active (à 94,5% de chlordécone) (Le Déaut et Procaccia, 2009). Parmi les trois usines produisant la molécule (dans le Delaware, en Pennsylvanie et en Virginie) nous retiendrons celle d'Hopewell dans l'état de Virginie. Elle fut en 1976 le théâtre d'une crise sanitaire sans précédent, touchant l'environnement ainsi que ses employés. Des effets toxiques aigus ont été observés chez les ouvriers ainsi qu'une pollution environnementale importante du site de production (notamment de la James River et la Chesapeake Bay). Suite à ces observations des prélèvements de sang ont permis de retrouver le CLD à forte dose chez les ouvriers de l'usine (Macarie, 2014a). Chez les ouvriers plusieurs symptômes regroupés sous la dénomination de « syndrome Kepone » ont été mis en évidence, avec des atteintes neurologiques et testiculaires (Le Déaut et Procaccia, 2009). Cette crise sanitaire provoqua l'interdiction de production et de commercialisation aux États-Unis en 1976. Nous verrons un peu plus tard que les études menées par Multigner (2010, 2014) permettront de mieux caractériser la contamination par le CLD chez l'homme.

Utilisé presque exclusivement comme usage agricole le chlordécone a fait l'objet de 55 formulations à différents dosages et entre dans la composition de plusieurs produits comme le Mirex qui se dégrade en CLD (lutte contre les fourmis), le Kélévan (mêmes fonctions que le chlordécone) ou le Dechlorame (retardant les incendies) (UNEP, 2006). Ces différentes formulations ont été utilisées sur un spectre très large (lutte contre le doryphore et les vers taupins de la pomme de terre, le mildiou, la tavelure du pommier et les ravageurs du tabac et des agrumes), sans que cette liste soit limitative (UNEP, 2006). Entre 1951 et 1975 un produit dilué à 80 % de matière active fut exporté en Allemagne principalement afin d'y être converti en Kélévan. Le chlordécone fut également synthétisé au Brésil (UNEP, 2006) et aux Antilles sous la dénomination de Curlone entre 1981 et 1993. Entre 1951 et 1976 l'UNEP (United Nations Environment Programme) estime que 90 à 99% du CLD produit fut exporté vers l'Europe, l'Asie, l'Amérique Latine et l'Afrique. Hervé Macarie (2014) chercheur à l'IRD quant à lui parlera d'une exportation de 90% vers l'Europe et de 10% vers les autres régions du monde. Sur ces 90% il estime que 30% ont été exportés vers la France dont la majorité fut réexpédiée vers les Antilles françaises. Au cours de ce travail bibliographique, nous allons vite nous rendre compte que la catastrophe d'Hopewell annonce les prémices d'une pollution bien plus étendue dont l'une des plus importantes zones polluées se situe aux Antilles françaises.

⁶ Brevet déposé par Everett Gilbert et Silvio Giolito et breveté par United States Patent n° 2616825, "Decachlorotetrahydro-4,7-methanoindeneone pesticide and method for combating noxious organisms therewith" et US Patent, n° 2616928, "Process for preparing decachlorotetrahydro-4,7-methanoindeneone", 1952.

1.3. Son autorisation et son utilisation en France

Bien qu'utilisé contre le doryphore de la pomme de terre (*Leptinotarsa decemlineata*), le phytophte des agrumes (*Phyllocoptruta oleivora*), les fourmis manioc (Mirex) (*Acromyrmex octospinosus*), l'oïdium ou la tavelure du pommier c'est contre le charançon du bananier (*Cosmopolites sordidus*) que le chlordécone sera utilisé aux Antilles françaises (Kermarrec, 1980). Les larves se nourrissent des racines de la plante, entravant son développement et surtout fragilisent son implantation. Dans les années 70-80 nous sommes dans un contexte où la culture de la banane représente une part importante des exportations des Antilles françaises. L'émergence de pays producteurs en Amérique Latine ainsi que la libéralisation des marchés au sein de l'UE menace ce secteur (Fintz, 2009). Les différents produits utilisés afin de lutter contre ce ravageur tel l'hexachlorocyclohexane, l'aldrine et la dieldrine sont de moins en moins efficaces et font l'objet d'une restriction par le gouvernement français (Kermarrec, 1980; Lastel, 2015). Compte tenu de son efficacité contre le charançon le chlordécone fait l'objet d'une autorisation provisoire en 1972. Fixée à une durée d'un an l'autorisation, sous la pression des producteurs de bananes, s'étendra jusqu'en 1981 date d'homologation officielle du Curlone (seconde formulation commerciale à base de chlordécone) (Boutrin et Confiant, 2007; Le Déaut et Procaccia, 2009). En septembre 1989 la commission d'étude de la toxicité interdit l'usage du chlordécone et en 1990 elle interdit sa commercialisation en métropole.

Mais selon la législation française⁷ un délai de deux ans à partir de l'avis d'interdiction était toléré avant le retrait définitif du produit. Les planteurs de banane exploitèrent cette brèche et le chlordécone fut donc utilisé jusqu'en février 1992 (Edmond-Mariette, 2005; Le Déaut et Procaccia, 2009). Pire encore le lobbying exercé par les planteurs déboucha sur une dérogation d'utilisation du CLD jusqu'en février 1993 et de ses reliquats jusqu'en septembre 1993. Le chlordécone fut donc utilisé jusqu'en septembre 1993 et il faudra attendre six autres longues années avant que l'État français ne prenne réellement la mesure de la pollution engendrée par l'utilisation de CLD aux Antilles françaises (Edmond-Mariette, 2005). Aux Antilles la molécule fut importée sous le nom de Kepone entre 1972 et 1976 et sous le nom de Curlone entre 1981 et 1993 par l'intermédiaire de la société Vincent de Lagarrigue (Edmond-Mariette, 2005; Le Déaut et Procaccia, 2009). Dosé à 5% de chlordécone l'application de ces deux produits se faisait de manière localisée (au niveau du bulbe et autour du pseudotrunc du bananier) (Snegaroff, 1977). Répandu au pied de la plante la dose conseillée à l'époque était de 30 grammes de Curlone/pieds. Avec une densité de plantation à l'hectare de 800 pieds et un épandage moyen par an de 2,5 g on estime que le dosage du CLD est de 3 kg/ha/an (Kermarrec, 1980). Mis en corrélation avec les quantités produites et exportées Macarie et al., 2014 font l'estimation d'un épandage de 300 tonnes sur la période 1972-1993 sur l'ensemble de la Martinique et de la Guadeloupe. Cela représente 16% de la production totale estimée à 1800 t. Le chlordécone largement utilisé aux Antilles françaises a contaminé de manière durable tout le biotope Antillais et nous le verrons dans la partie suivante de nombreuses mesures ont été mises en place. Le reste de la production a été répandu à travers le monde sans que l'on sache précisément le lieu et les quantités. De ce fait les études sur l'exposition de la population ainsi que les mécanismes de contamination doivent continuer. Comme nous allons le voir de nombreux acquis nous ont permis d'élargir l'état des connaissances, mais un long chemin reste encore à parcourir.

⁷ Arrêté du 1^{er} décembre 1987, article 8 relatif à l'homologation des produits visés aux points 4 et 7 de l'article 1^{er} de la loi du 2 novembre 1943 sur l'organisation du contrôle des produits antiparasitaires à usage agricole

1.4. Prise de conscience au niveau national

Dans cette partie nous allons présenter l'historique des études menées sur le chlordécone et sur l'exposition de la population face à cette pollution sur la période de 1993 à nos jours. Sera également étudiée la réponse des pouvoirs publics afin de contrôler cette crise. Afin de faciliter la lecture et la compréhension nous allons présenter cette partie sous forme de tableau chronologique (Tableau 3). Étant donné la quantité de données importante existante sur le sujet nous ne mentionnerons que les études et les événements qui ont eu un réel impact sur la gestion de cette crise. Nous commençons cette frise à la date de 1993 car depuis la catastrophe d'Hopewell les travaux de recherches menés ont été peu concluants ou n'ont eu qu'un faible impact sur la prise de conscience nationale. D'autre part en 1988 les études américaines autour du site de l'usine ont observé que les taux de CLD chez les organismes aquatiques étaient revenus à des seuils acceptables. Le problème étant selon eux résolu la nécessité de continuer les travaux de recherches sur la molécule n'était plus justifiée. À partir de son interdiction en 1976 les programmes de surveillance ne recherchent plus la présence ou l'utilisation du CLD, elle sera même qualifiée d'obsolète par l'ONU. La construction de cette frise chronologique est déduite des travaux de l'Assemblée nationale (Le Déaut et Procaccia, 2009), de l'IGAS et l'IGE (Bonan et Prime, 2001), du livre écrit par (Boutrin et Confiant, 2007), du rapport de (Edmond-Mariette, 2005) et de l'observatoire des résidus de pesticides.

+

Années	Évènements et actions en lien avec le Chlordécone
1977 - 1980	Rapport Snegaroff et rapport Kermarec : découverte du CLD dans l'environnement
1993	Pollution des eaux et sédiments du Grand Carbet en Guadeloupe (étude de l'UNESCO)
1998	Rapport d'information sur l'état de la pollution par la mission d'inspection Balland-Mestres-Fagot.
1999	Pollution des eaux de consommation, fermeture de plusieurs captages
2000	Plan d'urgence (préfet de Guadeloupe), mise en place d'un filtrage de l'eau par charbon actif
2001	Création du Grepp → protection sanitaire des consommateurs
2002	Mise en évidence par la DSDS d'une contamination des sols et de certains légumes racines (rapport Bellec et Godard) ; découverte d'un lot de patates douces contaminées à Dunkerque.
	Inventaire des sols contaminés, étude transfert sol/ plante, renforcer les contrôles de l'eau et aliments La DSDS, l'IFREMER et la DCCRF mettent en évidence la pollution des organismes aquatiques
2003	Caractérisation de l'exposition alimentaire de la population martiniquaise : étude CALBAS
	AFSSA : définition de valeurs toxicologiques de référence. Limite d'exposition chronique = 0,5 µg/kg de poids corporel/j et une limite d'exposition aiguë de 0,10 µg/kg de poids corporel/j
	Arrêté préfectoral : analyse de sol avant mise en culture de légumes racines (sud Basse-Terre).
	DDCCRF : plans d'action de recherche de résidus de pesticides dans les produits végétaux
	Étude HIBISCUS : prévalence de l'exposition au CLD chez les femmes enceintes
2004	InVS publie son rapport sur l'identification des dangers et valeurs toxicologiques de référence
	Etude Karuprostata : impact d'une exposition dans la survenue du cancer de la prostate
	Étude TI-MOUN (2004-2007) : étude de cohorte sur les femmes enceintes et les nouveaux nés
2005	Rapport d'évaluation des plans d'action par l'Igas, le CGGREF et l'IGE : constat positif
	Rapport de l'assemblée nationale sur l'utilisation du chlordécone dans l'agriculture
	Rapport de l'AFSSA sur l'évaluation de l'exposition alimentaire

	Découverte de 4 rivières contaminées par l'Université Antilles-Guyanne. Arrêté préfectoral interdisant la pêche, la consommation et la commercialisation d'organismes aquatiques de 10 rivières (arrêté toujours en vigueur)
2006	Rapport du CIRAD et de l'INRA : « Pollution par les organochlorés aux Antilles »
	Enquête RESO : caractérisation des niveaux de contamination des aliments de consommation
	Etude TIMOUN (Inserm) : enquête sur les habitudes de consommations des jeunes enfants
	Inscription du CLD à l'annexe A de la convention de Stockholm et rapport du professeur Belpomme
2008	Création d'un comité de contrôle et d'évaluation des politiques publiques et d'un conseil scientifique
	Lancement du Plan Chlordécone I (2008-2010) et fixation des LMR à 20 µ/kg de produits frais
	Appel d'offres ANR : Projet chlorderco (sol et transfert)
	Étude IFREMER : état et voies de contamination de la faune halieutique
	BRGM : étude mécanisme de transfert du chlordécone du sol vers les eaux souterraines
	CEMAGREF : étude sur l'ubiquité du CLD entre le réseau hydrographique et le milieu marin
	CIRAD-INRA : étude transfert sol-plante et mise en place d'un référentiel de mise en culture
	INRA : étude de bioaccumulation chez les animaux d'élevage
2009	Création du programme JAFA
2011- 2014	Lancement du Plan Chlordécone II (2011-2013) et du Plan Chlordécone III (2014-2020)

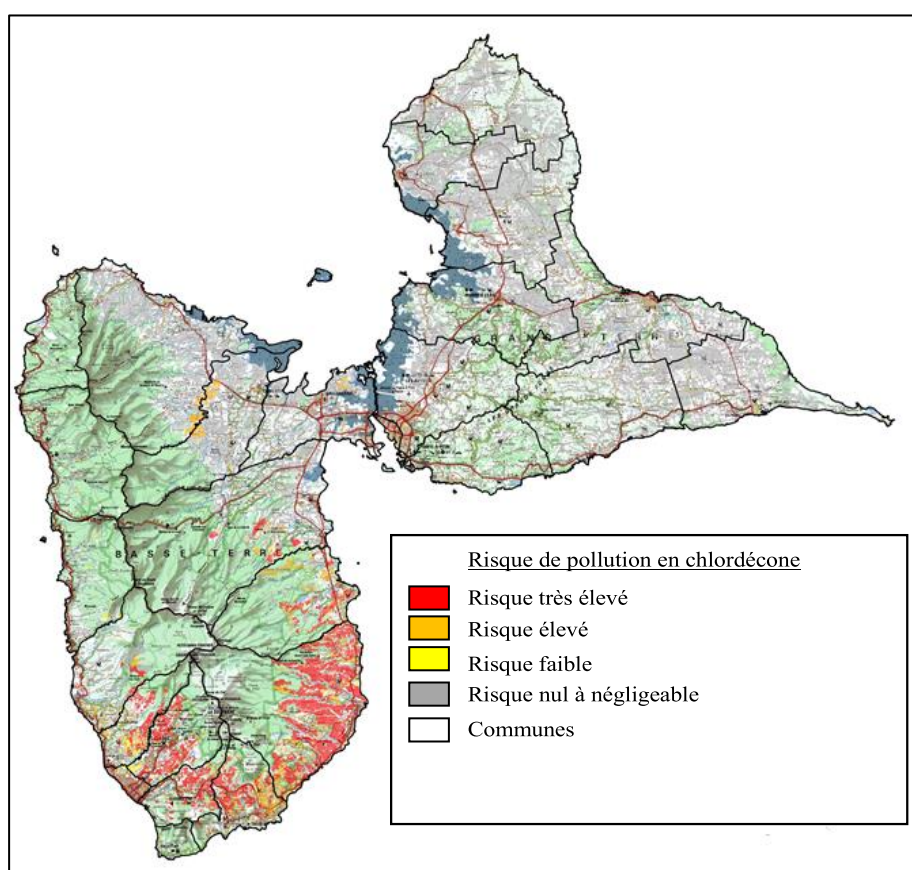
Tableau 3 : Présentation des différentes études et événements en lien avec le chlordécone

La reconnaissance par les pouvoirs publics de l'état de crise sanitaire n'a eu lieu que vers 1999 avec la découverte de la pollution des eaux de consommation. Ce n'est qu'en 2005 suite au rapport d'information d'Edmond-Mariette (2005) que l'état acquiert une vision plus générale des réponses à apporter. Il fallut attendre 2006 avant qu'une réelle coordination des actions de l'État se fasse autour de la personne de M. Éric Godard. Regroupant sept ministères, deux préfectures et quinze organismes publics de recherche elle déboucha sur le Plan Chlordécone I. Il s'est écoulé plus de 20 ans entre la crise d'Hopewell et les premières actions mises en place pour limiter l'exposition de la population. Les très nombreuses études présentées dans le tableau 3 [ci-dessus](#) ont permis de caractériser l'exposition de la population locale. Jusqu'en 2008 les travaux ont ciblé les populations les plus exposées (travailleurs agricoles, femmes enceintes, enfants et auto consommateurs). Elles ont mis en évidence une exposition chronique de ces populations au chlordécone se traduisant par des perturbations de l'appareil reproducteur chez les adultes et par des troubles neurologiques chez les jeunes enfants. En parallèle d'autres études ont caractérisé les habitudes alimentaires de la population et déterminer les principaux aliments contaminés. Ces résultats alarmants ont débouché sur une évolution importante de la réglementation autour du chlordécone. Ainsi les LMR sont désormais fixées entre 100 (ruminants et porcins) et 200 (volailles) µg CLD.kg⁻¹ de matière grasse. L'important travail d'amélioration des connaissances sur l'état de la contamination a abouti sur la mise en place de plusieurs plans d'action matérialisés par les Plans Chlordécone I, II et III ([ANNEXE 4](#)). Avec une visée plus sociale, ces plans ont été suivis par l'ANR permettant en parallèle de continuer les avancées scientifiques notamment sur le comportement de la molécule dans les produits animaux. Les produits animaux et végétaux et à moindre mesure l'ingestion de sol (chez les enfants) constituent les principales voies de contamination pour l'homme. Dans la suite de ce rapport nous allons étudier de quelle manière les produits animaux et végétaux sont contaminés ainsi que le risque d'ingestion de sol dans la prévalence de la contamination.

1.5. Cartographie des zones contaminées

En Guadeloupe la cartographie des zones contaminées par le chlordécone a été élaborée par le DAF-SPV en collaboration avec l'INRA. Ce zonage est basé sur les recoupements des parcelles en bananeraies identifiées par les cartes IGN de 1969 et 1987 (19% de la SAU), les photos aériennes de 1968 à 1985 et la cartographie de la DAF en 1977 (Cabidoche et al., 2006). Cette carte a permis d'identifier une surface contaminée représentant environ 1/5^{ème} de la SAU avec un gradient croissant des sols pollués du Nord vers le Sud (Risser, 2014). Plusieurs facteurs influençant le degré de contamination ont été identifiés : la nature du sol, la taille de l'exploitation (pratiques agricoles), l'historique de culture de la parcelle (Levillain et al., 2012) et la durée de culture en banane (Woignier et al., 2014). Ainsi quatre catégories de risque ont été identifiées (DAAF, 2017) (Figure 4):

- Risque très élevé : Bananeraies en 1968 et 85, ou 1985 et 97, ou aux 3 dates (périodes Képone et Curlone). Probabilité de 0,95 que le sol présente une teneur en chlordécone supérieure à 0,01 mg/kg de sol sec ;
- Risque élevé : Bananeraies en 1985 ou 97 (période Curlone partielle). Probabilité de 0,86 que le sol présente une teneur en chlordécone supérieure à 0,01 mg/kg de sol sec ;
- Risque faible : Bananeraies en 1969 (début du Képone). Probabilité de 0,50 que le sol présente une teneur en chlordécone supérieure à 0,01 mg/kg de sol sec ;
- Risque négligeable : Bananeraie à aucune des dates. Probabilité de 0,08 que le sol présente une teneur en chlordécone supérieure à 0,01 mg/kg de sol sec.



Sources : DAAF 971, IGN

Figure 4 : Cartographie de la pollution potentielle en chlordécone

Une des premières informations ressortant de cette carte c'est que la Grande-Terre peut être quasiment considérée comme indemne de pollution. La deuxième information importante est que 85% des parcelles analysées montrent une contamination moyenne à forte dans la zone de risque très fort. À l'opposé 99% des parcelles ne sont pas ou très peu contaminées dans la zone à risque « négligeable ». Ces pourcentages concernent plus de 1600 analyses de parcelles dont 1000 effectuées sur la Basse-Terre (Cabidoche et al., 2006). Il faut également noter qu'il existe une forte disparité entre les communes, par exemple dans le croissant bananier (sud-est de la Basse-Terre) 50% de la surface est contaminée (Cabidoche et al., 2006). Cette forte hétérogénéité est due en partie aux différences climatiques, de relief et de pratiques agricoles. Suite à des analyses récentes de sols une révision de la carte de risque de contamination est en cours au sein de l'INRA. Avec 20% de la SAU contaminée le secteur agricole guadeloupéen est fortement impacté par cette pollution et notamment l'élevage. À titre d'exemple la surface en herbe sur sol contaminé est de 750 ha (sur 9537) (Le Déaut et Procaccia, 2009). Le sol est un facteur important ayant une influence directe sur le degré de contamination. La surface contaminée est constituée à 80% d'andosols, 50% de nitisols et 10% de ferralsols. Fortement séquestré dans les sols celui-ci un facteur important de contamination devant être pris en compte dans la gestion de la pollution et dans le contrôle de l'exposition de la population.

Maintenant que nous avons établi un zonage des zones contaminées, nous allons voir quelles sont les principales voies de contaminations des animaux d'élevage. Dans notre cas nous allons aborder cette partie avec pour point de départ la matrice sol. De par le mode d'application du CLD le sol se retrouve être la principale source de contamination. Par des mécanismes de transferts spécifiques le sol va ainsi indirectement être la source de pollution de tout le biotope. Nous allons retrouver le CLD du sol dans les végétaux mais aussi dans les ressources en eau (rivière, mer, nappe souterraine). Très peu volatil le CLD n'est pas retrouvé dans l'air. L'alimentation et l'eau constituent donc des voies de contaminations importantes pour les animaux d'élevage. Nous verrons également que la concentration en CLD dans l'organisme de l'animal peut être liée à une ingestion involontaire de sol.

Chapitre 3. Contamination des animaux d'élevage par le chlordécone

1. Voie principale d'exposition : le sol

1.1. Le chlordécone dans le sol

Le CLD se retrouve majoritairement dans le sol et sa rémanence dans celui-ci peut varier de quelques décennies à plusieurs siècles. En effet, selon la nature du sol la capacité de séquestration du CLD est différente. Tout d'abord, procédons à un état des lieux de la contamination par le CLD dans le sol. En Guadeloupe nous retrouvons majoritairement trois types de sol, les Andosols (concentration en allophane élevée), les Nitisols (forte concentration en halloysite) et les Ferralsols (teneur élevée en halloysite et oxihydroxide) (Bouveret, 2012; Clostre, 2014; Levillain et al., 2012). Ces trois sols possèdent une forte capacité d'infiltration (conductivité hydraulique saturée supérieure à 60 mm.h^{-1}) et une teneur en carbone élevée (environ 2%) (Levillain et al., 2012). Cette forte concentration en carbone est à l'origine d'un fort pouvoir de séquestration du CLD dans le sol. Cependant de par leur composition ces trois sols ont des capacités de séquestration bien différentes. L'Andosol a par exemple un plus fort pouvoir de séquestration du CLD (Clostre, 2014; Levillain et al., 2012).

D'après une étude qui a porté sur la Basse-Terre (Levillain et al., 2012) selon la nature du sol, l'historique de la parcelle, le niveau d'intensification de l'exploitation et la durée de culture en banane les concentrations de CLD dans le sol pouvaient varier de $0,011 \text{ mg.kg}^{-1}$ à $52,1 \text{ mg.kg}^{-1}$ soit un stock de $0,02$ à 50 kg ha^{-1} (Mahieu, 2014). Le CLD est donc présent en grande quantité dans la matrice sol et ce pour plusieurs centaines d'années. Selon le modèle WISORCH⁸, M. Cabidoche (2009) a pu déterminer que le temps de présence du CLD est de 70 à 100 ans dans les nitisols, de 300 à 400 ans dans les ferralsols et de 500 à 700 ans dans les andosols (Figure 5). Le CLD disparaîtra par une lixiviation et un lessivage lent à destination du milieu marin où il sera dilué (Cabidoche et al., 2006; Le Déaut et Procaccia, 2009; Macarie, 2014a).

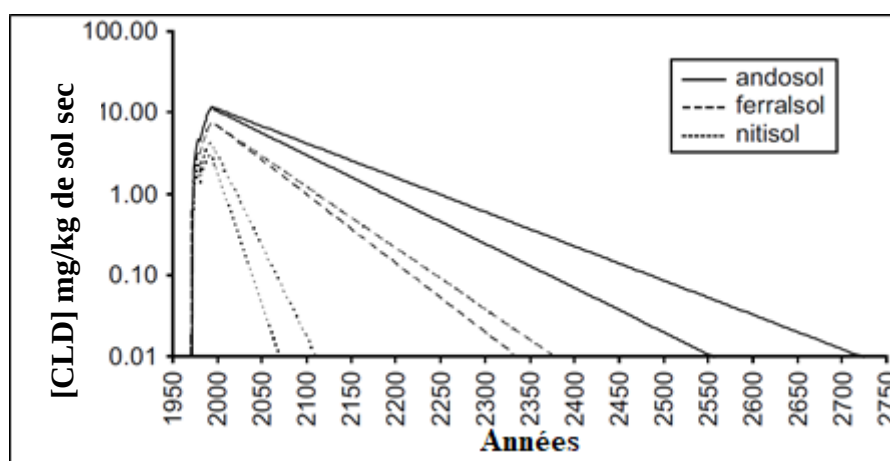


Figure 5 : Evolution de la pollution de trois types de sol après apport de CLD de 3 kg/ha/an 1972-1978 et 1982-1993

D'après ce modèle nous pouvons supposer que les andosols ont un pouvoir de séquestration plus fort que les autres types de sol mais aussi une cinétique de relargage du CLD dans l'environnement plus faible (Le Déaut et Procaccia, 2009; Levillain et al., 2012). En 2009 Cabidoche confirmera l'hypothèse que sur une profondeur de 0 à 10 cm la pollution des sols est plus concentrée dans les andosols ($2,5 \text{ mg.kg}$ de CLD). Toutefois au niveau du sol les concentrations sont très hétérogènes en partie à cause des différentes teneurs en MO mais aussi à cause du travail du sol. Le travail du sol et plus particulièrement le labour entraîne un phénomène de dilution en profondeur modifiant ainsi la distribution dans le sol du CLD. Par exemple dans les déprises bananières où le labour profond a été pratiqué la teneur en chlordécone entre 50 et 70 cm est plus élevée (15 µg/kg) que dans un sol non labouré (0 à 5 µg/kg). L'horizon supérieur 0-30 cm est plus contaminé que l'horizon inférieur 30-60 cm (Cabidoche et al., 2006 ; Le Déaut et Procaccia, 2009; Woignier et al., 2014). Pour résumer, la concentration en CLD des andosols est supérieure à celles des nitisols et ferralsols (Cabidoche et al., 2009; Levillain et al., 2012). Cette différence de concentration est due à une différence de composition chimique ainsi qu'à une différence dans la structure argileuse (Woignier et al., 2014). Ainsi les teneurs en allophane, matière organique et carbone expliqueraient ces forts pouvoirs de rétention du CLD dans les sols antillais (Fernandes et al., 2010; Levillain et al., 2012; Woignier et al., 2014). Une des principales explications réside dans le fait que seul les andosols sont composés d'allophane. Par rapport aux autres composés du sol les allophanes ont des propriétés différentes, le volume en pores est supérieur ainsi que leur teneur en eau, une plus grande distribution de la taille des pores, une surface spécifique plus élevée et une structure fractale (Woignier et al., 2014).

⁸ Modèle de lixiviation basé sur la cinétique de désorption de premier ordre, a été développé. Ses paramètres d'entrée sont la teneur en carbone organique du sol (SOC) et le coefficient de répartition SOC / eau (K_{oc}).

Il existe une corrélation positive entre les pourcentages d'allophane, le volume de pores et la surface spécifique (Woignier et al., 2014). L'argile allophane possède une structure spongieuse comprenant de petites particules agrégées formant un réseau tortueux de petits pores. Cette structure particulière permet une meilleure séquestration du CLD. Une corrélation positive a été mise en évidence entre la proportion en allophane du sol et la concentration en CLD (Woignier et al., 2014). Les andosols fortement concentrés en allophane ont ainsi un pouvoir de séquestration du chlordécone plus fort et donc une capacité de transfert du CLD vers l'environnement plus faible (Woignier et al., 2014). En effet, la structure fractale et la taille des pores de l'argile allophane entraînent une conductivité hydraulique faible donc un échange de flux réduit et par conséquent une capacité de transfert plus faible (Woignier et al., 2014, 2011). Cette forte capacité de rétention des andosols permet de limiter le transfert du CLD vers l'environnement et également entre les parcelles (Le Déaut et Procaccia, 2009). Par exemple dans un andosol la capacité de transfert du CLD vers la plante est 18 fois plus faible que pour un nitisol (Jondreville et al., 2013). Le temps de présence du CLD dans les sols est donc plus long et la possibilité d'une décontamination à grande échelle quasiment impossible. Quoiqu'il en soit la composition en allophane du sol est une composante importante à prendre en compte dans l'étude de techniques de remédiation (Woignier et al., 2012).

La rétention du CLD est gouvernée par un processus physique, la composition en allophane du sol et un processus chimique, la proportion en carbone et en matière organique du sol (Woignier et al., 2012). Après avoir vu le processus physique, nous allons maintenant étudier le processus chimique. En 2014 Woignier et ses collaborateurs ont démontré que l'ajout de matière organique avait pour effet d'augmenter la capacité de rétention du CLD du sol et donc de limiter son transfert vers l'environnement. La forte concentration en CLD du sol ne dépend donc pas uniquement de sa composition en allophane mais aussi de sa teneur en matière organique. Ainsi en 2013 Woignier et al. ont montré que l'ajout de compost dans le sol avait pour effet de réduire la biodisponibilité du chlordécone. En effet, l'ajout de compost et donc de matière organique a pour effet un effondrement des mésopores et le CLD à l'intérieur de ces mésopores est moins susceptible d'être diffusé (Fernandes et al., 2010; Woignier et al., 2013). Une concentration plus élevée en MO contribue également à modifier la structure fractale du sol et a donc une influence sur la biodisponibilité du CLD (Woignier et al., 2013). Le chlordécone a une forte affinité pour la MO du sol et il est majoritairement absorbé par des liaisons de faible énergie (Cabidoche et al., 2006). Plus précisément plusieurs auteurs ont montré que le CLD avait une forte affinité pour le carbone de la matière organique du sol. Ainsi lorsque la teneur en carbone augmente la séquestration du CLD est supérieure. Une des raisons expliquant cette forte affinité pour le carbone organique est le K_{oc} élevé du CLD. La structure allophanique des andosols leur conférant une meilleure séquestration du carbone organique il en résulte une plus forte concentration du CLD (Cabidoche et al., 2009; Levillain et al., 2012; Woignier et al., 2014, 2013).

Pour conclure, il a été démontré que les andosols (K_{oc} ⁹ entre 12 et 25) ont une capacité de sorption supérieure aux ferralsols (K_{oc} entre 7,5 et 12) qui ont eux-mêmes une capacité de sorption supérieure à celle des nitisols (K_{oc} entre 2 et 3). Ainsi les andosols sont 2 à 3 fois plus contaminés que les nitisols et 3 à 6 fois plus que les ferralsols (Cabidoche et al., 2009, 2006, Woignier et al., 2014, 2012), mais à teneur en CLD identique, les andosols sont 2 à 3 fois moins contaminants pour les cultures que les nitisols. Les nitisols et ferralsols favorisent donc une plus grande contamination des végétaux et animaux cultivés ou élevés sur ces sols.

⁹ Coefficient de partage carbone organique/eau indique l'aptitude de la molécule à être adsorbée ou désorbée sur la matière organique. Plus il est élevé plus la substance se liera préférentiellement à la phase solide du sol

D'autre part il faudra retenir que certes les mécanismes chimiques et physiques du sol jouent un rôle dans la contamination des sols mais ce sont bien les systèmes agricoles qui expliquent le mieux cette forte pollution de ces sols. Pour conclure cette partie, nous allons présenter un schéma identifiant les différents facteurs liés aux systèmes de production et aux propriétés du sol qui influencent la contamination des sols en CLD.

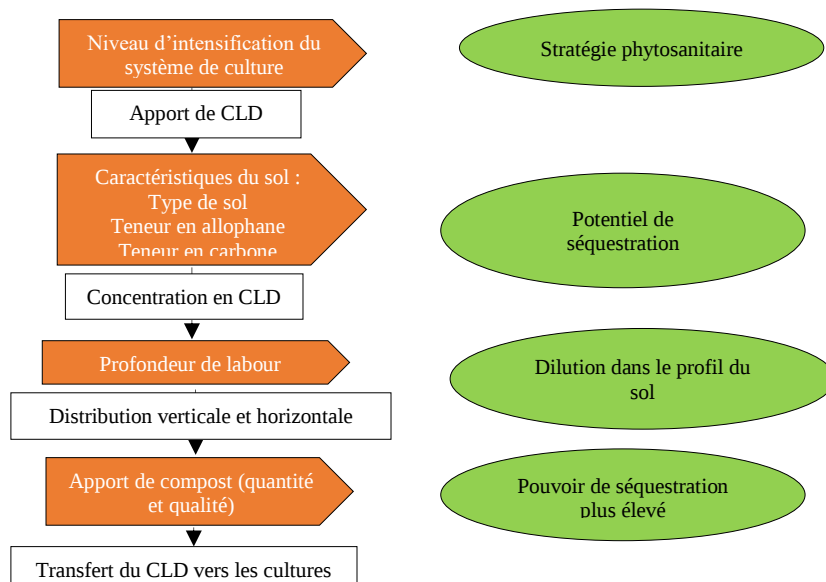


Figure 6 : Facteurs influençant la concentration en CLD dans le sol (Woignier et al., 2014)

1.2. Du sol vers les végétaux

Les andosols ont une capacité de transfert du CLD vers l'environnement plus limitée cependant ils ne représentent qu'une faible proportion des sols de Guadeloupe (Figure 1). D'après une étude menée sur Basse-Terre (Levillain et al., 2012) seulement 8% du nombre total d'échantillons (parcelle) ne présentent pas de risque d'une contamination des végétaux ([CLD] <0,1 mg kg⁻¹ de sol). L'alimentation étant l'une des principales sources de contamination pour l'homme nous supposons qu'il en est de même pour les animaux d'élevage. La nécessité d'établir une relation entre contamination du sol et contamination des végétaux est donc essentielle. La première étude étudiant les transferts de CLD du sol vers les végétaux fut celle de Cabidoche et de ses collaborateurs en 2006. Ainsi ils ont pu établir qu'avec une teneur en chlordécone dans le sol inférieure à 100 µg/kg il n'y avait aucun risque. Pour des teneurs supérieures à cette limite seulement quelques cultures pouvaient être envisagées. Suite à ces résultats le projet Chlordexco visant à mieux comprendre les différents mécanismes de transfert sera lancé. Un autre point important dans la compréhension de ces mécanismes de transfert est que d'après cette même étude les légumes racines et tubercules sont plus contaminés que les autres végétaux (20 µg/kg MF). Ainsi l'hypothèse d'une contamination par voie racinaire et par contact avec le sol est émise. Une autre observation est que les organes proches des racines sont plus contaminés que les organes ayant un temps de formation plus long. Cette forte contamination des légumes racines et tubercules pose un réel problème, car selon les enquêtes IPSOS de 2010 93% des guadeloupéens consomment ce type de légumes dont 23% proviennent de leur jardin. Suite à ce constat, les Plans Chlordécone I et II prévoient une réinstallation des agriculteurs en zone trop polluée mais c'est un échec. La contamination est de trop grande ampleur et il est impossible de réinstaller tous les agriculteurs (Blanchard et al., 2011).

Tout d'abord le niveau de contamination dépend de la plante et de l'organe (Lesueur-Jannoyer et al., 2012). Quel que soit l'organe considéré la concentration en CLD est toujours plus faible que dans le sol ce qui laisse penser à une voie de transfert passive (pas de bioaccumulation) (Lesueur-Jannoyer et al., 2012). Dans le cas des tubercules la principale voie de transfert se fait par contact (pulpe moins contaminée que l'épiderme, absorption périodermique) (Cabidoche et al., 2006; Clostre, 2014; Létondor, 2014). Ainsi la contamination des légumes racines ou tubercules est proportionnelle au niveau de contamination des sols. Comme nous l'avons vu dans la partie précédente le niveau de contamination sera différemment selon le type de sol. Chez les autres types de végétaux la contamination se fait majoritairement par voie racinaire via le flux de sève brute (xylémique) ascendant. On observe également un gradient de contamination entre les organes souterrains et aériens, les organes aériens étant toujours moins concentrés en CLD que les organes souterrains (Lesueur-Jannoyer et al., 2012). La base des tiges est également plus contaminée que la partie apicale. Ce gradient de dilution au sein de la tige s'expliquerait en partie par l'affinité que le CLD a pour les fibres et plus particulièrement pour les tissus ligneux ainsi la partie inférieure de la tige agirait comme une sorte de filtre. Cette affinité pour les tissus ligneux laisse également présager une plus forte contamination des parties végétales anciennes (Pascal-Lorber et al., 2016). Néanmoins une récente étude réalisée sur le maïs (Pascal-Lorber et al., 2016) a permis de mettre en évidence une concentration en CLD plus forte dans les feuilles que dans les tiges. Cette répartition s'explique grâce au phénomène d'évapotranspiration qui s'effectue principalement au niveau des feuilles. La force engendrée par cette évapotranspiration permet ainsi au xylème chargé en CLD d'atteindre les feuilles. La feuille étant la partie préférentiellement pâturée par les animaux le niveau de contamination apporté par les fourrages ou les jachères pâturées (Cabidoche et al., 2006) est à prendre en compte, il est fortement dépendant de la proportion feuille/tige du fourrage (Pascal-Lorber et al., 2016). Au niveau des fruits étant donné que leur remplissage se fait majoritairement via les flux de sève élaborée (phloémiques) (sauf dans le cas des cucurbitacées) leur contamination est très faible ($< 5 \mu\text{g/kg MF}$). Les coefficients de transfert maximaux calculés selon chaque type de végétal ont permis de mettre en évidence trois classes (Cabidoche and Lesueur-Jannoyer, 2012; CIRAD, 2010; Lesueur-Jannoyer et al., 2012):

- Les productions végétales sensibles, les racines et tubercules à éviter sur sol pollué au-delà de $0,1 \text{ mg/kg}$ de sol sec. Transfert maximal sol/plante de 20 % ;
- Les productions végétales intermédiaires, canne à sucre (contamination de la base de la tige et des sous-produits), cive, laitue et cucurbitacées (concombre, giraumon, ...) à éviter sur sol pollué au-delà de 1 mg/kg de sol sec ;
- Les cultures à faible risque, arbres et arbustes ainsi que la plupart des plantes maraîchères (christophine palissée, chou, haricot, aubergine, tomate, ...), pas de restriction de mise en culture.

Cet aspect est très important, car il permet de fournir une limite maximum de résidus dans le sol suivant la culture envisagée. L'analyse de sol devient donc un outil d'aide à la décision (Figure 7) et permet suivant le taux de contamination du sol d'identifier quels végétaux peuvent être cultivés (Cabidoche et al., 2006).

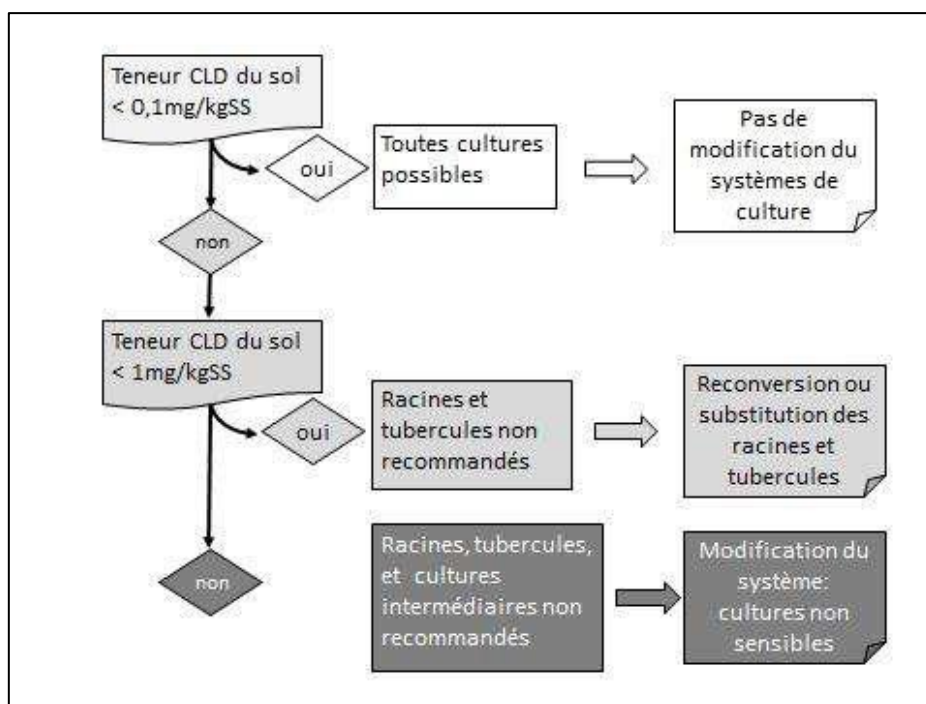


Figure 7 : Schéma de l'outil d'aide à la décision à partir de l'analyse de sol (Lesueur-Jannoyer et al., 2012)

En collaboration l'INRA, le CIRAD, la DAAF, la chambre d'agriculture, l'Institut Pasteur et le Laboratoire Départemental d'Analyses de Guadeloupe ont mis au point un guide pratique à destination des agriculteurs afin de limiter leur exposition au chlordécone. En 2010 le CIRAD avait également établi un guide d'échantillonnage permettant aux agriculteurs d'effectuer des contrôles de la contamination de leurs parcelles et de leurs productions. L'analyse de sol étant essentielle dans l'adaptation des pratiques agricoles le programme Jafa a lancé des campagnes d'enquêtes et d'analyses de sol chez les agriculteurs. Ils ont également mis au point des chroniques audios faisant intervenir plusieurs acteurs dont l'INRA afin de sensibiliser les agriculteurs. Plus récemment ils ont lancé un atelier participatif visant à tester plusieurs techniques de culture et d'élevage permettant de limiter l'exposition de la population au CLD. Cette campagne d'information a permis une réelle sensibilisation de la population leur permettant non plus d'être spectateur mais acteur contre cette pollution. En 2014 la plaquette élaborée par le CIRAD a déjà identifié plusieurs pratiques à risques (comme le labour profond, la densité de plantation et le maintien d'une parcelle en sol nu) ou à effet positif (comme la couverture du sol, l'ajout de compost, le choix de culture ou l'élevage hors sol) sur la réduction du risque d'exposition. Dans un contexte de pollution durable et sans réelle technique de dépollution à grande échelle la population doit vivre avec cette contamination et adapter ses techniques agricoles afin de limiter au maximum leur exposition.

Les végétaux représentent une source de contamination non négligeable dans l'alimentation humaine mais également dans l'alimentation animale. L'apport de fourrages et le pâturage sont des voies de contamination importante pour l'animal. D'autant plus que l'étude de Pascal-Lorber (2016) menée sur le maïs montre une concentration en chlordécone plus forte dans les parties aériennes préférentiellement pâturées par les animaux. Ainsi pour une vache pâturant sur un sol pollué (1 mg de CLD/kg de sol) peut absorber quotidiennement entre 0,23 g (tige supérieure 100 µg/kg MS) à 4 g (vieille feuille 1800 µg/kg MS) de CLD (Pascal-Lorber et al., 2016). Les différentes variétés de plantes retrouvées dans les pâtures appartenant à la même famille que le maïs, les poacées, nous pouvons supposer que la répartition tissulaire du CLD chez ces espèces est similaire à celle du maïs. Les caractéristiques particulières du CLD rendent l'étude de son transfert dans l'environnement très complexe.

L'état actuel des connaissances est important mais il reste encore beaucoup à apprendre. Ce n'est qu'en ayant une connaissance précise des mécanismes de transfert du CLD que nous pourrions limiter au maximum l'exposition de la population. Les végétaux sont effectivement une des sources principales de contamination chez les animaux mais une autre voie est également à prendre en considération, celle de l'eau. La partie suivante de ce rapport se propose d'en faire son étude.

1.3. Du sol à la ressource en eau

Grâce au phénomène de dilution et à la lipophilie du CLD la ressource en eau représente la matrice la moins contaminée en termes de concentration. Cependant l'ensemble de la ressource est pollué par le CLD (rivière, nappes et mer). Cette contamination est causée par les transferts de CLD à partir du sol via les phénomènes de lessivage et de lixiviation (Le Déaut et Procaccia, 2009). Du fait de leur forte teneur en matières organiques les sédiments représentent un lieu de stockage du CLD privilégié contaminant de manière durable la ressource en eau (Cabidoche et al., 2006). Le contexte pédoclimatique des Antilles (forte pluviométrie et sols filtrants) ainsi que le travail du sol (phénomène de dilution en profondeur) favorisent un transfert du CLD par voies souterraines (nappes) (Lesueur-Jannoyer et al., 2012). Dans son étude de 2009 Cabidoche a identifié les eaux de drainage comme principale voie de transfert par lixiviation. Le ruissèlement ne représente que 3% de ces eaux et est donc négligeable. De plus la concentration en CLD des eaux de ruissèlement est faible soit 2 µg/L (Cabidoche and Lesueur-Jannoyer, 2011).

Sur sol pollué, les eaux d'infiltration et de drainage chargées en CLD dissoute sont les principales voies de contaminations des nappes, rivières et sources. Le chlordécone du sol se disperse ainsi dans l'environnement (CIRAD, 2014). Cependant ces transferts représentent un processus lent et faible dû à la forte séquestration du CLD par les sols (K_{oc} élevé) (Cabidoche et al., 2009). Le travail du sol favorise la dilution du CLD dans le sol et par conséquent dans les nappes souterraines. Afin de mieux assimiler ce processus de contamination via la ressource en eau une étude à l'échelle du bassin versant Pérou a été menée (Crabit et al., 2016). Cette étude fait le constat suivant : la contamination moyenne du sol du bassin versant est supérieure à celle de la sole bananière de Guadeloupe. Ils observent également que la concentration en CLD varie selon le type de sol et l'historique des pratiques agricoles. En période de faible débit la rivière est alimentée majoritairement par les nappes souterraines or c'est durant cette période que la concentration en CLD de la rivière est la plus forte. Cette observation valide donc l'hypothèse que les eaux souterraines représentent la principale voie de transfert du CLD du sol vers la rivière. Cette étude a également pointé du doigt une pollution de la ressource en eau par d'autres pesticides. Pour conclure, il est évident que la ressource en eau constitue une voie de contamination pour les animaux d'élevage. Cependant celle-ci est moindre par rapport à l'alimentation car beaucoup moins concentrée en CLD. Ces mécanismes de transfert du sol vers l'eau doivent néanmoins faire l'objet d'études plus approfondies, car de nombreuses zones d'ombres subsistent encore.

L'eau étant beaucoup moins concentrée en CLD que les aliments c'est donc l'alimentation qui représente la principale voie de contamination. Plusieurs études ont ainsi montré que l'ingestion quotidienne d'aliments contaminés conduit à une contamination de l'animal, de ses produits (lait et œufs) ainsi que de sa progéniture (Bouveret, 2012; Jondreville et al., 2013; Lastel, 2015). Par exemple suite à une exposition continue à 0,25 µg de CLD/kg, 15% des bovins contrôlés avaient une concentration supérieure à la LMR (Mahieu, 2014).

Selon ces études il a également été prouvé que la concentration tissulaire en CLD est corrélée positivement à la quantité de chlordécone ingérée et à la durée d'exposition. Ces deux constats permettent de mettre en évidence une accumulation du CLD au sein de l'organisme. Un autre fait important à souligner est que le mode d'alimentation n'a pas d'impact sur la contamination des animaux (Lastel, 2015). Fort de cet état des lieux nous ne pouvons que nous demander quel impact peut avoir l'ingestion de sol sur la contamination des animaux d'élevage. Nous analyserons dans la prochaine partie les différentes études nous permettant d'avoir une idée de la part de sol ingéré dans l'alimentation des animaux (ruminants et monogastriques). Le sol étant beaucoup plus concentré en CLD (> 50 mg/kg) que l'eau (entre 0 et 35 μ g/l) ou l'alimentation (entre 5 et 20 μ g/kg de MS) même une faible ingestion en quantité pourrait amener à une contamination de l'animal au-dessus des LMR. Afin de bien étudier ce risque nous analyserons via différentes études le risque d'ingestion de sol, la biodisponibilité du CLD dans l'organisme ainsi que sa répartition tissulaire. Nous clôturerons ensuite cette partie bibliographique par une étude des différents moyens de décontamination existants.

1.4. L'ingestion de sol par les animaux d'élevage

Dans un premier temps il est important de rappeler que sur les anciennes zones bananières il y'a une prédominance du petit élevage et donc d'un commerce de proximité. En zone contaminée le cheptel bovin représente entre 4000 et 5000 têtes soit entre 9 et 11% du cheptel départemental (Mahieu, 2016). Ce marché informel est un réel problème, car les animaux ne sont pas contrôlés et certains d'entre eux peuvent être impropres à la consommation. Afin de pallier ce problème il est donc important d'identifier tous les facteurs de risque pouvant conduire à une contamination des animaux. Cette identification permettra par la suite de mettre au point des stratégies permettant aux agriculteurs de limiter l'exposition de leur troupeau à une contamination par le CLD. L'ingestion de sol peut résulter d'une exposition par différentes matrices comme l'abreuvement avec de l'eau boueuse, l'ingestion volontaire afin de compenser une carence minérale, l'alimentation via des fourrages souillés (piétinement), l'ingestion de pédofaune (vers de terre, ...) ou l'ingestion d'aliments distribués au sol (Mahieu, 2016). Ces facteurs sont très dépendants du mode d'alimentation et du comportement alimentaire, de la propriété de bioaccumulation du CLD et de l'environnement. L'une des premières études à quantifier le sol ingéré de manière significative fut celle de (Beyer et al., 1994) qui ont estimé que selon l'espèce capturée dans son environnement naturelle l'ingestion de sol pouvait représenter entre 7 (bison) et 30 % (oiseaux) de la ration. Ils mettront également au point une équation permettant d'estimer la quantité de sol ingéré, équation que nous utiliserons dans notre expérience. Avant eux (Healy, 1968) a mis en évidence une ingestion de sol pouvant représenter jusqu'à 1,5 % (363 kg de sol/an) de la MS ingérée des vaches laitières au pâturage (hauteur d'herbe de 13-15 cm). Plus récemment toujours chez la vache laitière (Jurjanz et al., 2012) ont mesuré une ingestion de sol pouvant aller de 250 g MS/j dans de bonnes conditions de pâturage à 1 kg MS/j dans de mauvaises (offre fourragère basse) conditions de pâturage. Ils identifient également plusieurs facteurs de risque comme l'offre fourragère, la hauteur d'herbe après pâturage ou un chargement élevé. La limitation de l'accès au pâturage ainsi que la distribution d'un concentré sont quant à eux deux facteurs qui peuvent limiter l'ingestion de sol. Une autre étude met en corrélation une hausse de la concentration sanguine en CLD avec les conditions pluvieuses ce qui confirme une contamination via l'ingestion de sol (Mahieu et al., 2012a). Chez les bovins Créoles une récente étude de Jurjanz et al., 2017 a mis en évidence une ingestion de sol différente selon l'offre fourragère (entre 4,4% pour l'offre non restreinte et 9,3% de la MS ingérée pour l'offre restreinte) mais en termes de quantité de MS ingérée le résultat fut non significatif (Jurjanz et al., 2017).

Cette étude a néanmoins permis de montrer que l'offre fourragère avait un impact sur l'ingestion de sol ce qui pourrait aboutir dans le futur à déterminer une stratégie de pâturage limitant cette ingestion. Chez les autres espèces rencontrées en élevage (Green et al., 1996), Field and Purves (1964) et Thornton (1983) ont quantifié une ingestion de sol en pourcentage de la matière sèche étant respectivement de 13%, entre 0,4 et 14% et de 30% chez le mouton. (Abrahams et Blackwell, 2013) reportent un taux d'ingestion variant entre 0,1 et 20,1 % de la MS ingérée chez le mouton au pâturage. Ils font également l'observation d'un taux d'ingestion plus élevé en hiver (mauvaises conditions climatiques) et d'une nette corrélation entre l'ingestion de sol et le niveau de contamination en métaux lourds du sol (plomb et fluorine). Une autre étude plus ancienne fait également le constat d'une différence du taux d'ingestion de sol chez le mouton selon la période (Abrahams et Steigmajer, 2003). Ainsi ils font état d'une ingestion moyenne de sol allant de 1,5 à 17,6% selon la saison avec un taux d'ingestion plus fort en hiver là où les conditions climatiques sont les plus mauvaises. Ils identifient également le sol comme source de contamination par les métaux. Le comportement de pâturage des ovins (pâturage plus près du sol) étant différent de celui des bovins ces résultats sont à relativiser. Chez les porcins élevés en plein air il a été démontré une ingestion de sol de 300 g/j en moyenne avec une plus forte variabilité individuelle en octobre durant des conditions de pâturage plus mauvaises (Jurjanz and Roinsard, 2014).

Chez la volaille, animal très présent dans la petite agriculture familiale l'ingestion de sol peut atteindre 30 g MS/j en mauvaises conditions (déséquilibre alimentaire) (Jondreville et al., 2014). En [ANNEXE 9](#) un tableau répertoriant les études réalisées sur la quantification de l'ingestion de sol est présenté. Maintenant que nous avons vu qu'une quantité variable de sol pouvait être ingérée selon l'espèce animale et les conditions d'élevage se pose la question de quelle peut être la source principale de sol ingéré. Il apparaît que l'adhérence du sol sur l'herbe pâturée représente la principale voie d'ingestion de sol (Green et al., 1996). Ainsi la voie d'ingestion sol-plante et dominante par rapport à la voie sol-animal même si celle-ci est non négligeable (Smith et al., 2009). L'adhérence de particules de sol sur la végétation sera mise en cause dans la contamination par le plomb chez le mouton et la transmission d'ions radioactifs chez les animaux au pâturage (Li et al., 1994; Rafferty et al., 1994; Smith et al., 2009). Il est également démontré que les mauvaises conditions climatiques et une ingestion plus forte (besoins en énergie) en hiver sont responsables d'une plus grande ingestion de sol (Smith et al., 2009). La présence de particules de sol sur la végétation est en partie due à l'effet splash provoqué par les fortes pluies. Ainsi après un fort épisode pluvieux le taux de sol sur le couvert végétal augmente (Dreicer et al., 1983; Mazurak et Mosher, 1968). Il est estimé que la concentration en sol sur la végétation est dû à l'effet splash (47- 68%) mais aussi par le vent qui en conditions sèches transporte de fines particules de sol (32-53%) (Li et al., 1994). Le taux de couverture a également un effet sur la concentration de sol, plus le taux de couverture est important plus l'effet splash est limité (Li et al., 1994). L'effet splash explique également le fait que l'on retrouve une concentration de sol plus forte sur les étages inférieurs de la plante (Hinton et al., 1995). L'autre facteur d'influence majeur est le chargement animal sur la parcelle. Lors d'épisodes pluvieux, en condition sans pâturage on observe une baisse de la concentration de sol sur la végétation alors qu'en condition de pâturage nous observons une hausse de cette concentration (Hinton et al., 1995). Le pâturage a donc une forte influence sur le taux de salissure de la végétation. Une hausse du chargement multipliée par quatre entraîne une hausse du taux de salissure de l'herbe de 60% et une hausse de la concentration de sol sur les étages supérieurs à 10 cm de 13 à 25% (Hinton et al., 1995). À l'inverse une division par 2,5 du chargement entraîne une diminution de l'ingestion de sol de 50% (Li et al., 1994).

Lorsque le chargement est élevé la salissure de l'herbe est plus forte, le sol se retrouve majoritairement sur la partie supérieure de la plante, partie préférentiellement pâturée par l'animal. L'offre fourragère peut également avoir un impact significatif notamment dans le cas d'une offre restreinte ne couvrant pas les besoins de l'animal. Ce régime déficitaire pousse l'animal à pâturer plus près du sol afin d'ingérer le maximum de fourrage et engendrera une croissance de l'animal plus longue et donc un temps de présence sur la parcelle plus important. Ces deux facteurs exposent donc l'animal à un risque d'ingestion de sol plus fort. Une carence en minéraux peut également pousser l'animal à ingérer volontairement du sol (Hinton et al., 1995; Jurjanz et al., 2017).

L'offre fourragère, le chargement, les conditions climatiques ainsi que le travail du sol (brise les agrégats et entraîne une projection de sol plus élevée lors de fortes pluies) apparaissent donc comme les facteurs de risque les plus importants. En favorisant l'ingestion de sol par l'animal ces facteurs sont à l'origine d'une contamination de l'animal par le CLD non négligeable. Certes l'ingestion de sol n'est pas la principale voie de contamination des animaux d'élevage mais sa forte concentration (2 à 3 fois celle de l'eau ou des fourrages) en fait un facteur de risque important. Ainsi une faible quantité ingérée de manière régulière ou une forte quantité à un moment donné peut provoquer un taux de contamination supérieur à la LMR. Maintenant que nous avons identifié les principales voies de contamination de l'animal nous allons étudier le comportement du CLD au sein de l'animal. Nous verrons que c'est le comportement de la molécule dans l'organisme et son métabolisme qui entraînent une contamination importante des produits animaux.

2. Absorption et comportement du chlordécone au niveau de l'organisme

Plusieurs études ont démontré que le chlordécone possède une biodisponibilité relative proche de 100% (Bouveret, 2012; Jondreville et al., 2013; Jurjanz et al., 2014b). D'autre part la voie d'administration (orale ou par intraveineuse) n'a aucun impact, la biodisponibilité absolue du CLD est donc également de 100% (Fournier et al., 2017). Cela signifie que la totalité du CLD ingéré via l'aliment, le sol ou l'eau se retrouve dans l'organisme de l'animal. Nous avons vu dans une précédente partie que l'andosol avait une capacité de séquestration plus forte que celle des autres sols. Cependant il a été démontré que lors du processus de digestion chez les monogastriques et polygastriques la capacité de séquestration du sol n'avait aucun effet sur la biodisponibilité du CLD (Bouveret, 2012; Jondreville et al., 2013; Jurjanz et al., 2014a, 2014b, Mahieu, 2014, 2013; Mahieu et al., 2012b). Sa distribution au sein de l'organisme se fait rapidement, entre 24 et 48h. Après une administration orale de CLD chez des caprins la concentration maximum dans le sérum a été atteinte au bout de 4 jours, temps du transit digestif (Fournier et al., 2017). Après cette période les concentrations en CLD dans les différents tissus atteignent un équilibre. La répartition du CLD dans l'organisme suit donc deux phases, une phase d'accumulation dans les tissus et une phase d'équilibre. Le CLD est davantage retrouvé dans le foie, les tissus gras et les muscles des animaux contaminés (Bouveret, 2012; Jondreville et al., 2014, 2013; Lastel, 2015; Soine et al., 1983). Sa forte capacité de contamination de l'organisme résulte en partie d'une répartition tissulaire du CLD assez particulière. Cette répartition diffère de celle observée pour les autres POP (polluant organique persistant). Plusieurs études montrent que le chlordécone se retrouve préférentiellement dans le foie. Ainsi la concentration en CLD dans le foie est trois fois supérieure à celle du gras périrénal pour des valeurs proches de la LMR (100 µg/kg de gras périrénal).

La concentration en CLD des muscles maigres (hampe) est d'environ 30% de celle des tissus gras (Mahieu et al., 2012b). Ces résultats sont cohérents avec ceux observés chez l'homme, le rat ou le porc. Cette répartition très différente selon les tissus s'explique par les préférences de liaison du CLD (par ordre décroissant d'importance) aux albumines, aux HDL (Lipoprotéines de haute densité), aux LDL (lipoprotéines de faible densité) et aux VLDL (Lipoprotéines de trais faible densité) (Mahieu et al., 2012b; Soine et al., 1982). À partir du CLD contenu dans le plasma 45% se fixe aux albumines, 30% aux HDL, 20% aux LDL et 5% aux VLDL (Soine et al., 1982). Le foie possédant de nombreux récepteurs aux HDL cela explique la plus forte concentration en CLD de celui-ci. Les tissus gras quant à eux possèdent davantage de récepteurs aux VLDL et absorberaient donc une quantité moins importante de CLD. Or les tissus gras sont la matrice utilisée lors de contrôles à l'abattoir et selon lesquels la LMR est exprimée. Se pose donc l'hypothèse de la validité de la LMR (Lastel et al., 2016; Mahieu et al., 2012b). Lastel et al., 2016 ont également mis en évidence une forte concentration en CLD de la carcasse, cette dernière étant composée d'os et de muscles on peut donc se poser la question de la concentration en CLD du muscle. Les auteurs ont également montré que la ration énergétique n'avait pas d'effet sur la répartition tissulaire du CLD dans l'organisme. Chez les poules pondeuses une quantité importante de CLD est retrouvée dans les jaunes d'œuf. La concentration en CLD de l'œuf est inférieure à celle du foie mais supérieure à celle de tous les autres tissus. Par ordre décroissant de concentration le CLD se retrouve davantage dans le foie puis dans l'œuf, le gras abdominal, le sérum, la poitrine et pour finir dans les muscles de la cuisse (Jondreville et al., 2014).

Chez le bovin il a été montré que le foie est quatre fois plus contaminé que les tissus adipeux péri-rénaux et huit fois plus que la hampe. Les tissus adipeux péri-rénaux sont quant à eux deux fois plus concentrés en CLD que la hampe (Lastel, 2015). D'autre part il existe une très forte corrélation entre les niveaux de concentration de ces trois matrices (entre 0,77 et 0,95 selon les matrices). Le changement du mode d'expression de la LMR entraîne un passage du nombre d'individus non conforme de 4 à 27 (en considérant les tissus adipeux péri-rénaux puis le foie) et de 6 à 26 (en considérant les tissus adipeux péri-rénaux puis la hampe) (Lastel, 2015). Ce constat remet en cause le principe de détermination de la LMR et soulève une question de santé publique, car le muscle et le foie sont des parties très consommées. Nous allons voir maintenant que ce comportement particulier du chlordécone est également à l'origine d'une possible décontamination de l'animal. Cet aspect est très important notamment dans l'adaptation des techniques d'élevage afin de permettre à l'agriculteur se trouvant en zone polluée de limiter l'impact économique d'une trop forte contamination.

3. Voies de dépollution et de décontamination

Le chlordécone ne subit aucune dégradation naturelle. Plusieurs travaux sont menés ou ont été menés sur les différentes voies de dépollution des sols pollués. L'objectif de cette partie n'est pas d'en faire le détail, car à ce jour aucune méthode n'a été identifiée afin de dépolluer efficacement les sols à l'échelle de la parcelle, car soit trop coûteuse soit affectant le potentiel agronomique des sols. Nous ferons donc une brève liste des différentes techniques étudiées puis nous nous concentrerons sur la possibilité de décontamination des animaux d'élevage, seule voie pouvant être proposée à l'agriculteur à l'heure actuelle. Les différentes études réalisées ou en cours sur l'étude d'une possible voie de dépollution des sols sont listées ci-dessous.

- Le charbon actif : efficace dans le traitement des eaux mais se pose la question de son élimination après utilisation ;

- Dégradation du CLD par un matériau hybride charbon actif + Vitamine B12 (Ranguin, 2014) ;
- Sur sol pollué faire de la culture énergétique ;
- Décapage des sols : altération de la fertilité des sols ;
- L'ajout de compost : forte teneur en MO permet de limiter efficacement le transfert du CLD vers les végétaux (Woignier, 2014) ;
- Ajout d'engrais à base de fer zéro valent : effet positif mais non généralisable à l'échelle de la parcelle, effets sur l'écosystème peu connu (Mouvet, 2014) ;
- Phytoremédiation : inefficace à l'heure actuelle ;
- Dégradation microbienne : inefficace pour l'instant (Macarie, 2014b; Merlin, 2014; Saaidi, 2014).

Le sol étant la matrice à la base de toutes contaminations beaucoup d'études sont réalisées afin de déterminer les possibles voies de dépollution. À ce jour aucune technique efficace à grande échelle n'a été trouvée. Les mesures les plus efficaces et accessibles à l'agriculteur sont les techniques visant à limiter l'exposition des animaux ou des cultures à une contamination. Ainsi pour les végétaux l'ajout de compost se révèle être une solution efficace même si celle-ci reste encore à explorer. Pour les animaux la prise en compte du temps de décontamination naturelle de l'animal est la principale voie exploitée à ce jour. D'un point de vue économique, sanitaire et social la population a besoin d'être conseillée afin de trouver des solutions rapidement leur permettant de vivre le mieux possible avec cette pollution.

La décontamination naturelle des animaux d'élevage est rendue possible grâce à la présence d'une enzyme hépatique, le chlอร์ดécone réductase. Cette enzyme permet la transformation du CLD en chlอร์ดécol (dérivé alcool moins toxique que la molécule mère), forme extractible par l'organisme (Cabidoche et Lesueur-Jannoyer, 2011; Jondreville et al., 2013). Chez le porc les métabolites secondaires issus de la dégradation du CLD sont retrouvés à 85% dans la bile et à 15% dans les fèces (Soine et al., 1983). Ce mécanisme permet ainsi une décontamination naturelle chez l'animal mais il reste toutefois très méconnu. En 2012 Mahieu a ainsi estimé un temps de demi-vie chez les bovins de 44 jours avec une forte variabilité individuelle (entre 33 et 73 j). En 8 mois de décontamination il observe un taux de CLD dans les différents tissus inférieurs à la limite de quantification. En prenant en compte la variabilité individuelle il estime une période d'une année nécessaire à la décontamination de tous les animaux. Le rapport final CHLORDEPAN fait la synthèse des temps de décontamination en CLD selon l'espèce. Ainsi pour les bovins le temps de demi-vie est estimé à 43 j avec une concentration inférieure à la LMR atteinte entre 6 et 12 mois. Chez le caprin le temps de demi-vie est plus rapide et est estimé à 20,6 j, en raison d'un processus digestif plus performant. Chez la poule pondeuse elle est d'environ une semaine avec une excrétion de 50% via l'œuf. L'animal en condition de ponte éliminera donc son taux de CLD plus rapidement qu'un individu qui ne pond pas (Mahieu, 2013). Pour finir, la cinétique de décontamination chez le porc est encore mal connue et sera étudiée lors d'une thèse qui débutera à l'automne 2017 dans le cadre du projet ANR INSICCA. L'excrétion fécale est la principale voie d'élimination du chlอร์ดécone. Après une phase d'accumulation la concentration en CLD des différents tissus atteint un équilibre (entrée = sortie). Après arrêt de l'exposition le CLD continue d'être excrété par l'organisme via la voie fécale majoritairement. L'organe considéré n'a pas d'effet sur le temps de décontamination, on observe la même cinétique de décontamination quel que soit le tissu. Selon l'espèce mais aussi l'individu le temps de décontamination sera de quelques semaines à plusieurs mois.

Le lait et les œufs constituent des voies d'élimination majeures permettant ainsi une décontamination de ces animaux plus rapide. Cette connaissance est très importante, car elle permet par la suite de proposer aux éleveurs des techniques d'élevage prenant en compte une période de décontamination post-abattage afin d'éviter la saisie des animaux. Par exemple dans le cas des bovins un transfert des animaux sur zones non polluées ou un apport de fourrages non contaminés pendant un an durant l'embouche pourraient être des solutions envisageables (Mahieu et al., 2012a). En revanche chez les volailles le temps de décontamination n'est pas compatible avec les systèmes d'élevage, l'élevage hors sol apparaît donc comme la meilleure solution. Une question se pose alors sur le risque de contamination des sols par les animaux en décontamination. Si nous partons du postulat d'une production annuelle de 1000 kg de PV/ha contaminés à raison de 1000 µg/kg de PV (valeur extrême, car en moyenne la contamination est plus de l'ordre de 100 µg/kg de PV) le transfert de CLD par an serait de 1 g/ha. Actuellement les stocks de chlordécone dans le sol sont de 1 à 60 kg/ha. En rapportant cette valeur au 1 µg/kg de sol sec transféré des animaux vers le sol il faudrait des milliers d'années avant d'atteindre un niveau de pollution des sols comparable à celui d'aujourd'hui. Au regard du temps de décontamination naturel des sols (de l'ordre de 5-7 siècles pour les andosols) la contamination des sols via les animaux en décontamination est négligeable. La connaissance de son métabolisme, du temps de demi-vie, de sa biodisponibilité et de sa répartition tissulaire permet ainsi à partir d'une concentration connue de CLD dans les fourrages, l'eau ou le sol d'estimer le niveau de contamination de l'animal et donc son temps de décontamination. Ainsi nous partons du postulat qu'une ingestion quotidienne de 40 µg de CLD/j pour un bovin de 200 kg peut entraîner une contamination de l'animal proche de la LMR. Cette contamination peut être apportée par l'eau (10 L/j à 4 µg/L pour un bovin de 200 kg), par les fourrages (4 kg/j à 10 µg/kg, ce qui est proche de la limite de quantification donc pour des valeurs inférieures c'est un mauvais indicateur) ou par le sol (40 g de sol à 1000 µg/kg soit 1% de la masse fourragère ingérée) (Mahieu et al., 2012a). Une petite quantité de sol peut donc être à l'origine d'une contamination de l'animal à un niveau supérieur à la LMR. Afin de conclure cette partie, deux figures vous sont présentées (Figure 8, Figure 9).

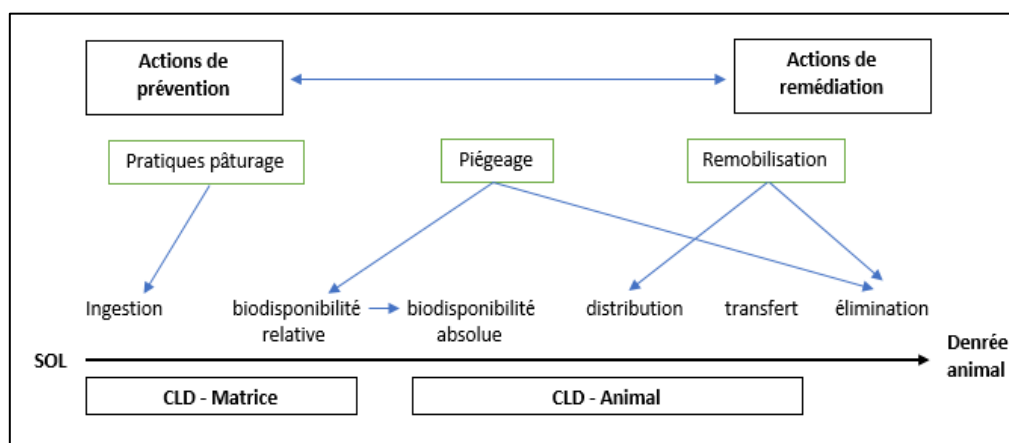


Figure 8 : Identification des étapes critiques du transfert de CLD et stratégies innovantes pour maîtriser ces transferts (Feidt et al., 2014)

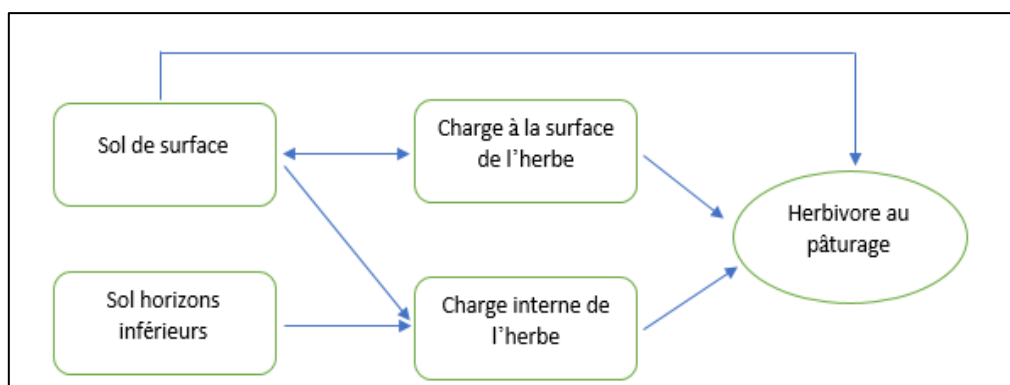


Figure 9 : Mécanismes potentiels de transfert du CLD du sol à la plante pâturée (Feidt et al., 2014)

L'alimentation, l'eau et le sol sont les principales sources de contamination des animaux d'élevage. Elles exposent l'animal à une ingestion quotidienne de CLD entraînant des concentrations tissulaires en CLD supérieures à la LMR. La physiologie de la digestion permet cependant une élimination naturelle du CLD. Ce temps de décontamination varie selon l'espèce, l'animal et le stade physiologique. À l'échelle de l'exploitation des techniques sont possibles afin de limiter l'ingestion de CLD par l'animal via les matrices contaminées mais aussi en procédant à des périodes de décontamination de l'animal sur sols non pollués. La contamination des animaux et leur saisie à l'abattoir ont un impact économique important sur les agriculteurs surtout dans un contexte où la petite agriculture et l'agriculture familiale dominent. La promotion de ces stratégies est donc essentielle afin d'assurer la pérennité de l'élevage en Guadeloupe. La collaboration avec les acteurs agricoles est également primordiale afin d'identifier des techniques innovantes et d'évaluer le niveau de prise de conscience de cette pollution à grande échelle.

Conclusion de l'approche bibliographique

Le chlordécone est un pesticide organochloré largement utilisé jusqu'en 1993 aux Antilles françaises afin de lutter contre le charançon du bananier. Classé comme polluant organique persistant il est très rémanent dans les sols et est à l'origine d'une pollution de tout le biotope antillais. Nous le retrouvons en grande quantité dans les sols mais aussi dans les ressources en eau (nappes, rivières, mer) et dans les végétaux. Cette contamination à grande échelle de toute la chaîne alimentaire expose la population antillaise à un risque sanitaire élevé. Aujourd'hui 1/5^{ème} de la SAU de la Guadeloupe est polluée par le CLD. L'agriculture faisant déjà face à une importante restructuration elle doit maintenant s'adapter à cette pollution par le chlordécone. Bien que des contrôles aient été mis en place, une grande partie des produits animaux et végétaux passent par le marché informel exempt de toute surveillance. Dans un contexte où l'agriculture familiale et la petite agriculture dominant il est nécessaire de contrôler cette voie informelle en proposant des techniques de culture et d'élevage limitant l'exposition de la population. Plusieurs techniques comme l'ajout de compost ou la réalisation d'une période de décontamination des animaux sur sol non pollué sont efficaces et compatibles avec les systèmes agricoles guadeloupéens. Bien qu'encourageant les recherches de techniques innovantes ainsi que d'une meilleure compréhension du comportement de la molécule doivent continuer.

Nous savons aujourd'hui que les principales voies de contamination des produits animaux sont l'alimentation, l'eau et l'ingestion de sol. L'ingestion de fourrage ou d'eau contaminés pouvant être contrôlée il en est beaucoup plus difficile pour l'ingestion de sol. Plusieurs études ont mis en évidence une ingestion de sol pouvant aller de 1% à 30% de la ration journalière. Le sol étant plus concentré en CLD (2 à 3 fois supérieur à la concentration des fourrages et de l'eau), même ingéré en faible quantité il peut entraîner une concentration tissulaire supérieure à la LMR. Le mécanisme de transfert du sol vers l'animal est encore peu connu tout comme les facteurs pouvant influencer cette ingestion de sol. Les pratiques d'élevage aux Antilles semblent favoriser l'ingestion de sol par les animaux. Il est donc important d'étudier ces différentes composantes afin d'être en mesure de proposer aux éleveurs des techniques de pâturage limitant le transfert de sol vers l'animal. Des études antérieures ont apporté plusieurs éléments de réponse mais certains points doivent encore être explorés. L'objectif de ce mémoire est donc d'apporter des informations complémentaires sur l'ingestion de sol par les animaux d'élevage. L'étude consiste donc à quantifier la quantité de sol ingéré par l'animal selon deux facteurs que sont l'offre fourragère et l'humidité du sol. Ainsi trois niveaux d'offre et deux niveaux d'humidité seront testés. L'élevage guadeloupéen reposant majoritairement sur l'élevage bovin il a été choisi de mener l'expérimentation sur 12 jeunes taurillons de type Créole.

Partie II. Approche expérimentale
Quantification de l'ingestion de sol par des bovins Créoles
au piquet selon deux facteurs : l'offre fourragère et
l'humidité du sol

Partie II. Approche expérimentale

Chapitre 1. Contextualisation de l'étude

1. Le milieu d'étude

L'expérimentation s'est déroulée sur le site INRA-Duclos située à Petit Bourg à prise d'eau en Basse-Terre. Plus précisément l'expérimentation est rattachée à l'Unité de Recherches Zootechniques (URZ) dirigée par Nathalie Mandonnet et à la plateforme tropicale d'expérimentation sur l'animal (PTEA) dirigée par Mario Giorgi. Le site expérimental se caractérise par une pluviométrie annuelle de 2500 mm et par des sols ferralitiques. Ces sols caractéristiques des régions tropicales sont acides ($\text{pH} \approx 5$) et très riches en oxydes de fer et d'alumine. Ils ont une activité biologique importante et sont riches en minéraux mais leur structure est très fragile. En conditions sèches la formation d'une cuirasse irréversible peut se former. Leur capacité d'échange cationique est très faible ($\text{CEC} < 10 \text{ meq}/100 \text{ g}$) tout comme leur réserve utile. Ce type de sol possède néanmoins une bonne capacité de drainage. Leur forte érosion rend ce type de sol particulièrement sensible à la pression de pâturage. Situé à une altitude de 110 mètres dans une région de transition climatique entre la « Guadeloupe sèche » et la « Guadeloupe humide » la pluviométrie annuelle est en moyenne de 2500 mm. La température annuelle est comprise entre 23°C et 27°C et l'hygrométrie est d'environ 90% toute l'année. Le diagramme ombrothermique de la station de Duclos depuis 2010 vous est présenté en Figure 10 ci-dessous.

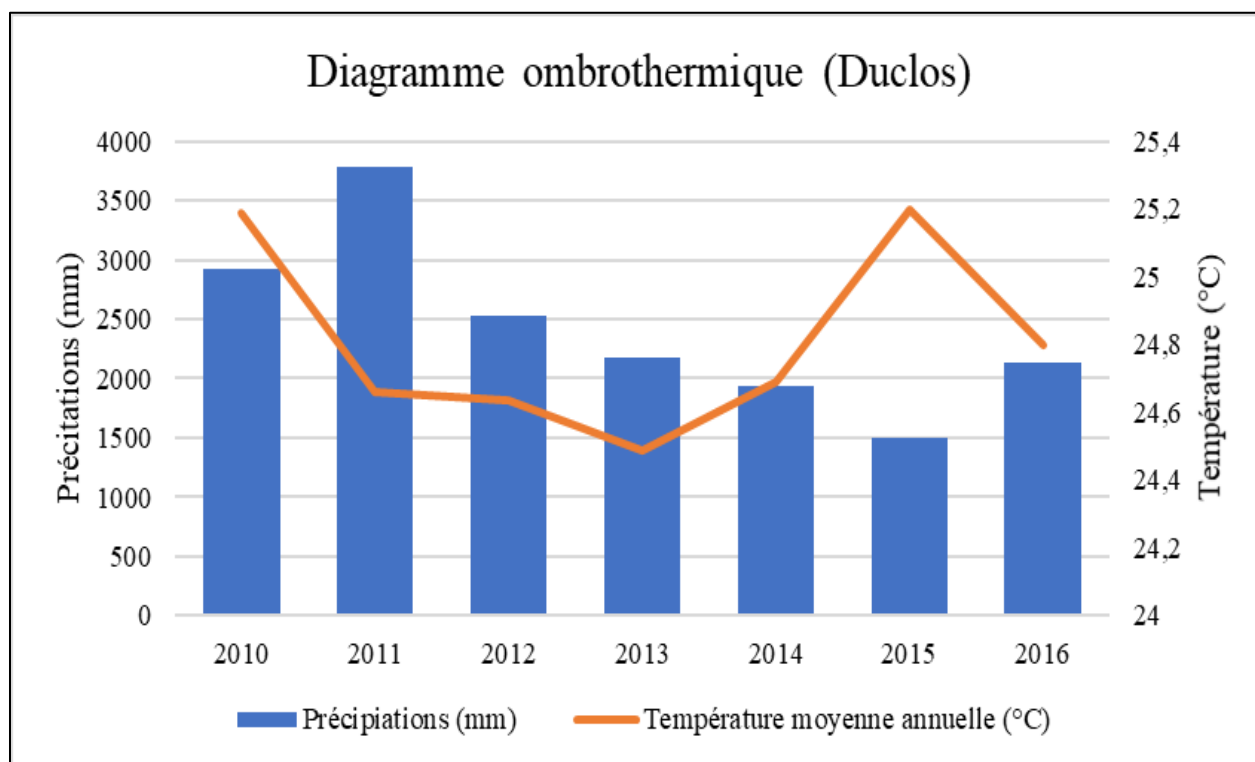


Figure 10 : Données météorologiques de la station de Duclos (Basse-Terre, Guadeloupe) en 2016

2. Le projet INSSICCA

INSSICCA est un programme ANR intégré au plan national chlอร์ดေးcone III de recherche pluridisciplinaire (zootechnie, économie, sciences sociales) qui a commencé à la fin de l'année 2016. Il a vu le jour dans un contexte d'une pollution globale de l'environnement par le chlอร์ดေးcone et ce pour plusieurs siècles. A ce jour aucune technique n'a été mise au point afin de dépolluer les sols il est donc nécessaire que le monde agricole adapte ses pratiques à cette contrainte avec laquelle il doit composer. La visée de ce projet est donc d'informer, d'accompagner et de co-construire avec les agriculteurs, et tout particulièrement les éleveurs, de nouvelles pratiques visant à leur assurer des trajectoires de production viables avec des animaux sains. L'objectif étant de proposer des techniques innovantes permettant une sécurisation des systèmes d'élevage dans les zones polluées. Les résultats de ce projet permettraient également un transfert de connaissances vers les autres parties du monde où le chlอร์ดေးcone a été utilisé. La promotion de ces nouvelles techniques est urgente afin de maintenir un niveau social et économique des éleveurs surtout dans un contexte de profonde transformation du système agricole. Le pilier productions animales étant lacunaire à ce niveau le projet INSSICCA est majoritairement tourné sur celui-ci. Le projet correspond à l'axe 4 du défi 5 du plan d'action de l'ANR « Développement de systèmes de production durables et innovants pour assurer une sécurité alimentaire aux consommateurs ». Il fait intervenir plusieurs acteurs dont l'URZ (INRA Antilles Guyane), l'URAFPA (Université de Lorraine-USC INRA, Vandoeuvre-lès-Nancy), le laboratoire Chrono-Environnement (Université de Franche-Comté, Besançon), le Centre de Recherche en Economie (Université Paris-Dauphine), l'ANSES, le LEAE (Université de Liège), COVACHIM (Université des Antilles), l'Interprofession Guadeloupéenne de la Viande et de l'Elevage, les chambres d'agriculture de Guadeloupe et Martinique, le Groupement de Défense Sanitaire de Martinique, le Ministère de l'agriculture, de l'agro-alimentaire et de la forêt (MAAF), la Direction de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt de Guadeloupe (DAAF) et deux laboratoires d'analyse (LDA56 et LDA972). Il s'articule en six axes de travail principaux nommés work packages (WP) :

- WP0 : animation, coordination et valorisation scientifique ;
- WP1 : évaluer les systèmes d'élevage locaux en termes d'exposition au chlอร์ดေးcone ;
- WP2 : caractériser la biodisponibilité du chlอร์ดေးcone, son comportement et son métabolisme dans l'organisme animal ;
- WP3 : établir des techniques innovantes de séquestration du chlอร์ดေးcone via le charbon actif ou le charbon agricole ;
- WP4 : proposer des techniques innovantes viables économiquement permettant la sécurisation des systèmes d'élevage historiquement situés en zones polluées ;
- WP5 : accessibilité sociale et économique de ces pratiques innovantes.

Un schéma explicatif du projet vous est proposé en Figure 11.

L'expérimentation présentée dans ce mémoire fait partie intégrante de ce projet. Plus précisément elle fait partie du WP1 visant à évaluer l'exposition des systèmes d'élevage locaux. Cette étude fait intervenir les partenaires URAFP de Nancy, URZ de Guadeloupe, et LCE de Besançon. Elle fait suite à une première expérimentation menée en 2015 (Jurjanz et al., 2017) qui avait permis de mettre en évidence une proportion de sol ingéré différente selon deux offres fourragères : une offre restreinte (RES) vs. une offre non-restreinte (NRES). Cependant l'ingestion de MS totale significativement supérieure pour les animaux du lot NRES n'avait pas permis de faire ressortir des résultats significatifs en termes de quantités de sol ingéré.

Notre étude intervient donc afin de d'approfondir ces résultats dans le but d'établir une loi de réponse de l'ingestion de sol selon plusieurs facteurs de variation.

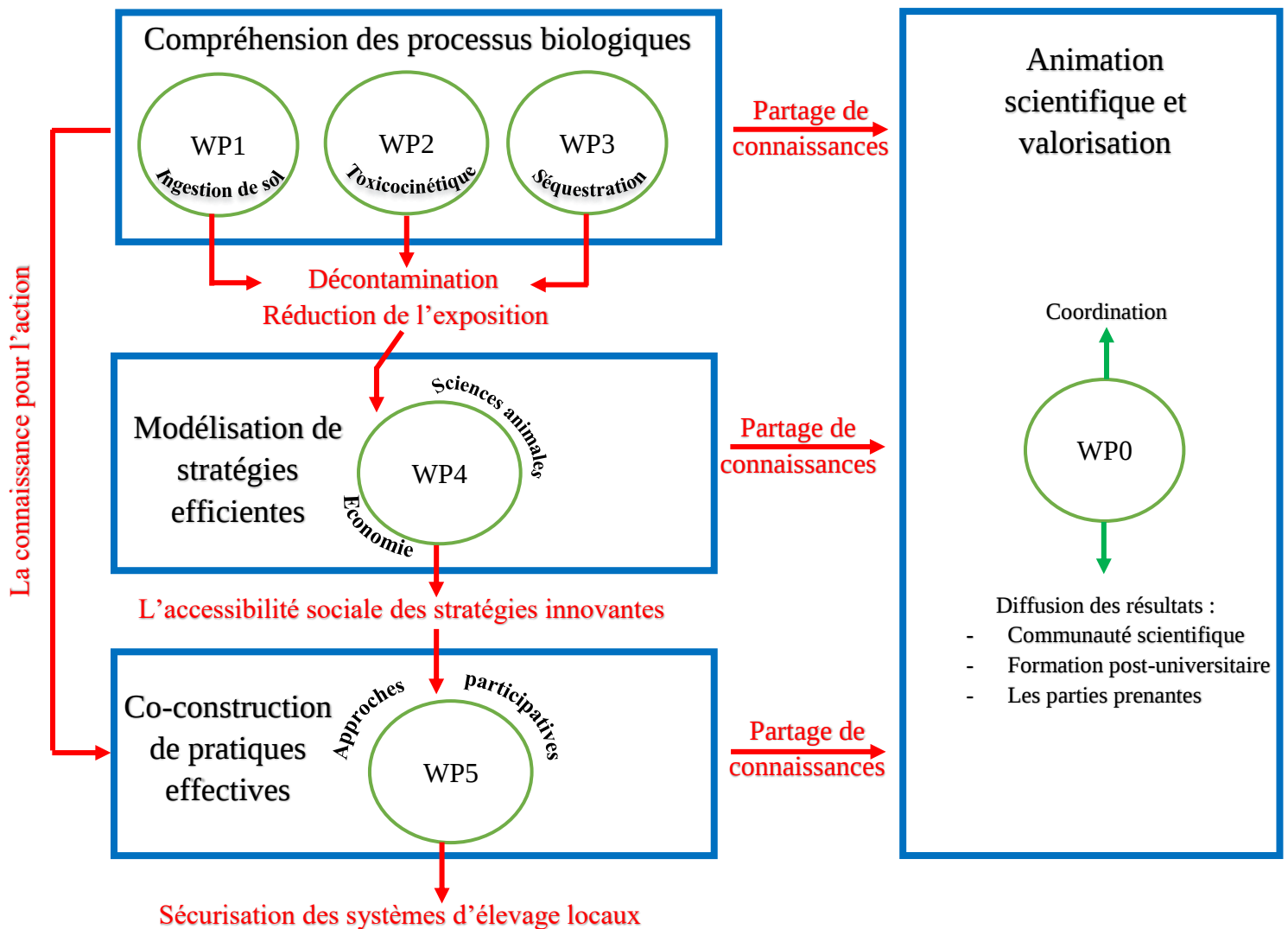


Figure 11 : Schéma organisationnel du projet INSSICCA

Les principales valorisations scientifiques liées à ce projet seront :

- Identification des facteurs abiotiques et des pratiques d'élevage affectant l'ingestion de sol en conditions tropicales. Proposition de techniques limitant l'exposition des animaux ;
- Caractérisation du comportement et du métabolisme du CLD dans l'animal qui peut être comparable à celui des autres POPS comme le PCB. Proposition de stratégies de décontamination ;
- Caractérisation des interactions physico-chimiques du CLD avec le charbon actif et agricole. Stratégie innovante permettant d'éviter le transfert de CLD vers l'animal en réduisant sa biodisponibilité ;
- Evaluation des coûts directs et indirects dus à la protection des produits animaux sur des sols fortement contaminés par le CLD.

Chapitre 2. Quantification de l'ingestion de sol par des bovins Créoles au piquet – Effet de l'offre fourragère et de l'humidité du sol

1. Objectif de l'étude

Que ce soit par l'autoconsommation ou par les marchés informels les produits échappent au contrôle de teneur en CLD. Le petit élevage augmente donc l'exposition des populations à une contamination par le CLD. L'éleveur joue un rôle très important dans la filière animale de Guadeloupe et se retrouve au premier plan face à la pollution de l'environnement et plus particulièrement du sol par le chlordécone. Majoritaire en Guadeloupe et particulièrement exposé au chlordécone il nous est apparu essentiel de réaliser notre étude avec un système d'élevage se rapprochant le plus possible de celui pratiqué par les éleveurs.

Sur les zones contaminées, le sol peut être concentré en chlordécone jusqu'à 1mg/kg de sol sec (Cabidoche et Lesueur-Jannoyer, 2011). De plus, plusieurs études ont montré que selon l'espèce, l'individu et le stade physiologique une ingestion de sol représentant 1% à 30% de la ration journalière pouvait être observée. On peut donc supposer que l'ingestion de sol par les animaux d'élevage peut être à l'origine d'une contamination élevée de l'animal. Cette étude fait suite à l'étude de Jurjanz et al., 2017 menée au printemps 2015 au Domaine de l'INRA Petit Bourg en Guadeloupe afin d'évaluer l'ingestion de sol par des bovins Créoles au piquet pour deux modalités d'offre fourragère. Ces modalités ont été obtenues par deux rayons différents de rond de pâturage 2,56 m (offre restreinte RES : 71 g MS/kg poids métabolique/j) et 3,22 m (offre non restreinte NRES : 128 g MS/kg PM/j). Les travaux se sont appuyés sur la méthodologie développée à l'UR AFPA (Jurjanz et al., 2012) et adaptés lors d'une étude préliminaire avec pour marqueur du sol le titane (Ti). La proportion de sol ingéré a varié de 9,3% à 4,4% de la MS ingérée respectivement pour les modalités RES et NRES. Du fait d'une MS ingérée plus faible dans le traitement RES (1,12 kg/100 kg PV) par rapport à NRES (1,83 kg/100 kg PV), les quantités de sol ingéré n'ont pas différé de manière significative (98 et 78 g MS/100 kg PV, soit 159 et 129 g MS/animal, respectivement pour les modalités RES et NRES). Une évaluation approximative (non publiée) du taux de couverture des besoins énergétiques a révélé que les animaux ont difficilement couvert leurs besoins d'entretien lors du traitement RES et ont pu couvrir les besoins équivalents à une croissance d'environ 500 g/jour pour le traitement NRES. Ainsi, la modalité RES s'est avérée très restrictive ne permettant pas de réaliser une croissance lors d'une application d'une durée longue. Par contre, la modalité NRES a permis d'offrir une quantité d'herbe correspondant au potentiel des bovins Créoles dans des conditions antillaises. La HHE moyenne correspondant à l'offre fourragère NRES (9,1 cm) était assez modeste par rapport aux pratiques locales. Ainsi se pose la question de savoir jusqu'à quel point l'ingestion de sol peut être réduite par une offre fourragère plus généreuse en parallèle d'une HHE plus représentative des pratiques locales. L'objectif de notre étude est donc d'appliquer des offres fourragères différentes de celles testées en 2015, notamment des offres plus importantes afin d'étudier jusqu'à quel niveau minimum l'ingestion de sol peut être réduite. Ces niveaux d'offre ont été combinés avec une HHE plus élevée (11 cm).

Lors de cette expérimentation, l'observation a été faite (mais non mesurée) qu'après des périodes de fortes pluies, l'herbe est plus fortement souillée avec du sol. Il est connu d'après la littérature (Dreicer et al., 1983 ; Hinton et al., 1995) que les précipitations entraînent des éclaboussures de sol mouillé sur la végétation (= phénomène de splash) qui résultent en une salissure non négligeable de l'herbe. Ces phénomènes de « splash » lors de pluies très fortes peuvent être plus ou moins tamponnés par la HH et la capacité du sol à absorber l'eau (CC : capacité au champ). A contrario la salissure de l'herbe risque de varier en fonction du piétinement des animaux confinés dans le rond de pâturage et du glissement de la chaîne d'attache sur une herbe déjà sollicitée par les sabots des animaux sur un sol moins portant. Ainsi l'ingestion de sol via une herbe plus ou moins souillée risque de varier en fonction de la période d'essai : soit en période plutôt sèche soit en période beaucoup plus humide. Ainsi cette nouvelle étude vise à établir l'ingestion de sol selon le niveau de l'offre fourragère en testant trois modalités de ce facteur. Avec notre étude 5 modalités d'offre fourragère ont été testé ce qui nous permettra d'évaluer le niveau d'offre permettant de minimiser au maximum l'ingestion de sol par les bovins. Elle vient en complément de l'étude de 2015 afin de valider ou invalider les hypothèses faites à cette époque. Le but final étant de pouvoir identifier des techniques d'élevage limitant le transfert de CLD du sol vers l'animal, deux facteurs de variation de l'ingestion de sol ont été testés : l'offre fourragère et l'humidité du sol.

2. Matériels et méthodes

2.1. Animaux utilisés pour l'expérimentation

Pour cette expérience 12 jeunes taurillons de race Créole de Guadeloupe (*Bos Taurus*) ont été sélectionnés. Les choix du stade physiologiques des animaux et du mode de conduite (au piquet) ont été faits afin de correspondre le plus possible au mode d'élevage antillais. Nés sur le site expérimental de Gardel (Le Moule, Guadeloupe) et élevés sous leur mère ils ont été sevrés entre le 12 décembre 2016 (10 animaux sur les 12) et le 23 janvier 2017 (2 animaux sur les 12). En raison d'un problème d'agressivité à la chaîne nous avons dû faire le choix de retirer trois animaux et d'en prendre deux nouveaux d'où une date de sevrage allant jusqu'au 23 janvier 2016. Les 12 animaux ont été allotés en quatre groupes de 3 individus selon un dispositif de cross over. Ainsi le groupe 1 est composé des animaux 3801, 3833 et 3806 avec un poids vif de sevrage moyen de 130,33 kg ($\pm 5,69$ kg d'écart-type). Le groupe 2 composé des individus 3809, 3844 et 3847 a un poids vif de 135 kg (± 29 kg). Pour une moyenne de de 122,66 kg ($\pm 9,50$ kg) le groupe 3 se constitue des animaux 3813, 3814 et 3850, et pour finir le groupe 4 formé par les bovins 3842, 3867 et 5770 a une moyenne de poids vif de 153 kg ($\pm 20,07$ kg). Dès leur arrivé sur le site de Duclos (entre le 24/01 et le 14/02) les jeunes taurillons sont placés au piquet afin de les habituer à ce type de contention. Les 12 bovins ont été conduits sur une période expérimentale de 90 jours décomposée en 6 périodes de 15 jours pour chaque individu. Suite à des différences d'accoutumance les deux vagues de 6 animaux ont commencé l'expérimentation en différé (Tableau 4). Chaque animal est passé sur tous les traitements (trois modalités d'offre fourragère et deux modalités d'humidité du sol) selon un schéma de cross-over. L'[ANNEXE 10](#) : Information des bovins utilisés lors de l'expérience présente les informations liées à chaque animal utilisé lors de l'expérimentation. Le poids des animaux a été déterminé toutes les 4 semaines et ils ont reçu deux traitements contre les tiques (Bayticol) le 07/03 et 20/04 et un traitement contre les parasites internes (Hapadex) le 20/04.

2.2. Les facteurs étudiés

2.2.1. Le facteur offre fourragère

Suite à l'étude de 2015 (Jurjanz et al., 2017) trois niveaux d'offres différents ont été défini. Le but étant de déterminer le niveau d'offre minimisant au maximum l'ingestion de sol.

- Une modalité basse (BAS) à 100 g MS/kg PM/j (permettant un GMQ d'environ 200 g/j) et située entre les deux niveaux d'offre fourragère de la manipulation de 2015 qui étaient de 71 g MS/kg PV et 128 g MS/kg PV ;
- Une modalité haute (HAUT) à 150 g MS/kg PM/j (permettant un GMQ de 600 g/j) ;
- Une modalité *ad libitum* (ADLIB) permettant d'exploiter au maximum le potentiel de croissance soit 300 g MS/kg PM/j.

L'offre fourragère d'entrée est obtenue en adaptant la longueur de chaîne de l'animal pour moduler les surfaces offertes en fonction de la biomasse disponible, cette dernière étant estimée quotidiennement à partir de mesures de hauteur d'herbe d'entrée (HHE) et d'une calibration hauteur-biomasse établie pendant la période pré-expérimentale (cf méthode dans la partie 2.5.). Afin de se rapprocher des conditions de pâturage des systèmes antillais il a été décidé d'obtenir une hauteur d'herbe à l'entrée des animaux supérieure à celle de l'étude de 2015 qui était d'en moyenne 8,4 cm. Cependant, des hauteurs d'herbe plus élevées se traduisent par un raccourcissement de la chaîne des animaux et constitue un facteur limitant. L'expérimentation a ainsi été conduite sur des parcelles d'une HHE moyenne de 10,9 cm ($\pm 2,3$ cm écart-type). En fonction des conditions météorologiques nous avons estimé que cette hauteur était atteinte après un temps de repousse de la parcelle entre deux périodes de pâturage de 14 j environ. Suivant le régime pluviométrique un arrosage a parfois été effectué après la fauche afin de favoriser la repousse sans influencer l'humidité du sol à l'entrée des animaux sur la parcelle. Selon la calibration hauteur-biomasse réalisée sur les échantillons d'herbe de Para (*Brachiaria mutica*) de 2015 et de 2017 une hauteur à l'entrée de 10,9 cm correspond à une biomasse de 202 g MS/m². Selon la hauteur d'entrée, le poids vif de l'animal et l'offre à allouer, une aire de pâturage sera déterminée et offerte via la longueur de chaîne de l'animal.

2.2.2. Le facteur humidité du sol

Les trois niveaux d'offres fourragères que nous avons présentés précédemment seront étudiés selon deux paramètres d'humidité du sol qui sont :

- Un niveau SEC (potentiel matriciel >19 et score humidité ≤ 1) permettant de se mettre dans les conditions sèches de la Guadeloupe « période du Carême » ;
- Un niveau HUM (potentiel matriciel < 10 et score d'humidité ≥ 2) permettant de se mettre dans les conditions humides de la Guadeloupe « période d'hivernage »

Selon la météo une irrigation 12h avant l'entrée de l'animal sur son rond de pâturage a été effectuée afin de créer des conditions humides représentatives de celles observées en Guadeloupe durant la saison des pluies. Ainsi les animaux pénètrent sur une surface humide permettant de mesurer l'impact du glissement de la chaîne sur le sol et du piétinement sur la salissure de l'herbe. Le niveau d'humidité est évalué selon trois paramètres :

- La mesure de l'apport en eau soit par les précipitations soit par l'arrosage ;

- La mesure de l'humidité superficielle du sol grâce à 17 sondes « Watermark » répartis sur l'ensemble de la parcelle pâturée. Le potentiel matriciel mesuré dans la couche superficielle (entre 1 et 5 cm) est variable selon la granulométrie et le type de sol de la parcelle ;
- Un score d'humidité de surface à l'entrée des animaux. Ce score est décomposé en 4 niveaux selon l'adhérence du sol. Le niveau 0 correspond à un sol poussiéreux, le niveau 1 correspond à un sol humide mais friable, le niveau 2 correspond à un sol humide formant une boule compact et le niveau 3 correspond à un sol très humide à l'état de boue.

Les conditions sèches étant difficilement maîtrisables en extérieur il a donc été choisi de réaliser l'expérience durant la période de Carême afin de maximiser le nombre de jours avec une faible pluviométrie. Afin de créer les conditions humides nous avons procédé à un arrosage la veille du pâturage grâce à une rampe de Sprinklers (marque UniRain à secteur réglable, Delta Sud SARL, Tonneins 47) permettant d'irriguer une bande d'environ 8 m correspondant à la zone de la parcelle qui sera pâturée le lendemain. Avec un débit mesuré de 5 mm d'eau/h un arrosage de 4 h est nécessaire afin d'apporter 20 mm permettant de passer théoriquement en conditions humides. Après une forte période sèche ou suivant la capacité d'infiltration de la parcelle un arrosage plus long a été réalisé. Un arrosage durant le pâturage n'était pas envisageable pour ne pas détériorer les bouses dont la récolte était nécessaire pour les mesures d'ingestion. La bande d'herbe n'étant arrosée qu'une seule fois aucun impact sur la pousse de l'herbe n'a été observé.

2.3. Le dispositif expérimental

A leur arrivé sur le site expérimental de Duclos (INRA Petit Bourg), les bovins ont suivi une période d'adaptation pré-expérimentale afin de les habituer à la pratique d'élevage au piquet et à la manipulation par les techniciens. Chaque animal a ensuite été conduit au piquet lors de 6 périodes expérimentales de 14 jours chacune composée de 7 jours d'adaptation à la nouvelle longueur de chaîne suivant l'offre allouée et de 7 jours de mesures qui consistaient à prélever les fèces et les fourrages. Dans un schéma de cross-over les 6 traitements sont : Modalité SEC, offre 100 ; Modalité HUM, offre 100 ; Modalité SEC, offre 150 ; Modalité HUM, offre 150 ; Modalité SEC, offre 300 et Modalité HUM, offre 300 (Tableau 4). Les modalités SEC et HUM ont été appliquées en fonction des conditions climatiques, cette année étant particulièrement pluvieuse nous avons profité du temps sec lorsqu'il était présent et parfois enchaîné plusieurs périodes SEC ou raccourci la période d'adaptation. Les bovins ont changé de surface de pâturage chaque jour pour mieux contrôler les quantités offertes journalières et éviter une fluctuation des quantités ingérées. Le déplacement des animaux se faisait chaque matin à 7h. Les deux vagues de 6 animaux étant conduites en décalé, chaque semaine une vague était en mesures tandis que l'autre était en adaptation et vice-versa.

Animal	Période 1 HUM (04/02-14/02)	Période 2 SEC (14-25/02)	Période 3 SEC (27/02-10/03)	Période 4 HUM (13-24/03)	Période 5 SEC (01-08/04)	Période 6 HUM (10-21/04)
3809 (G2)	BAS	BAS	AD LIB	HAUT	HAUT	AD LIB
3801 (G1)	BAS	BAS	HAUT	AD LIB	AD LIB	HAUT
3833 (G1)	HAUT	HAUT	AD LIB	BAS	BAS	AD LIB
3844 (G2)	HAUT	HAUT	BAS	AD LIB	AD LIB	BAS

3847 (G2)	AD LIB	AD LIB	HAUT	BAS	BAS	HAUT
3806 (G1)	AD LIB	AD LIB	BAS	HAUT	HAUT	BAS
	SEC (21/02-04/03)	HUM (08/03-17/03)	HUM (21-31/03)	SEC (01-08/04)	SEC (08-15/04)	HUM (17-28/04)
3850 (G3)	BAS	HAUT	AD LIB	AD LIB	HAUT	BAS
3842 (G4)	BAS	AD LIB	HAUT	HAUT	AD LIB	BAS
3813 (G3)	HAUT	AD LIB	BAS	BAS	AD LIB	HAUT
3867 (G4)	HAUT	BAS	AD LIB	AD LIB	BAS	HAUT
3814 (G3)	AD LIB	BAS	HAUT	HAUT	BAS	AD LIB
5770 (G4)	AD LIB	HAUT	BAS	BAS	HAUT	AD LIB

Tableau 4 : Ordre successif des traitements pour chaque animal (G = groupe ; BAS = 100 g MS/kg PM/j ; HAUT = 150 g MS/kg PM/j ; ADLIB = 300 g MS/kg PM/j). G1 +G2 = vague1 et G3+G4 = vague 2.

La Figure 12 représente le mouvement des animaux durant les trois premières périodes de la vague 1 (n = 6) et la première période de la vague 2 (n = 6). En moyenne chaque vague d'animaux peut rester entre 7 et 10 jours sur chaque parcelle selon la gestion des surfaces. La qualité du fourrage ou la composition botanique présentant parfois une hétérogénéité d'une parcelle à l'autre, nous avons fait en sorte de faire pâturer les animaux sur la même parcelle durant la totalité des mesures d'un même traitement.

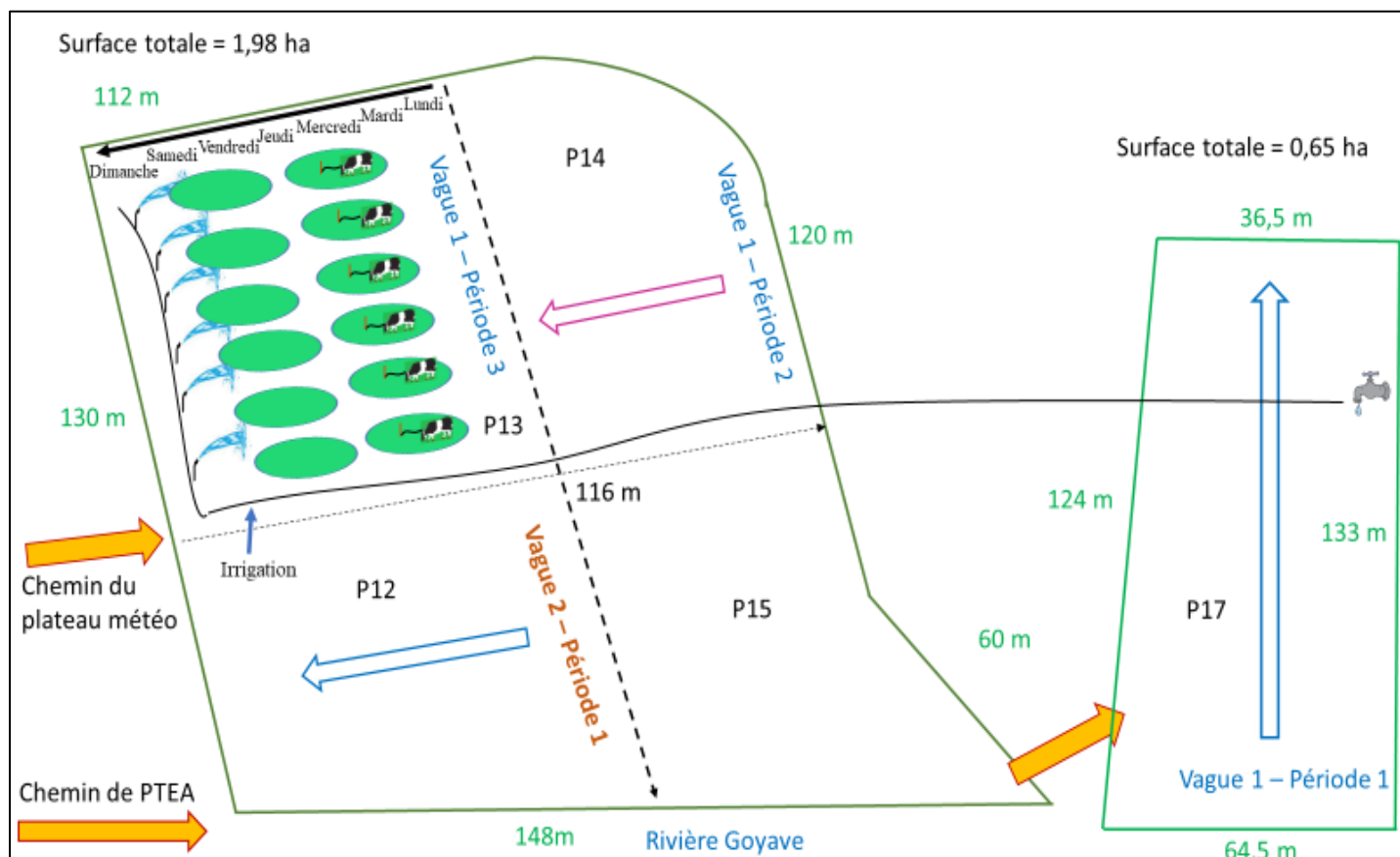


Figure 12 : Schéma du dispositif expérimental

Les 7 jours d'adaptation de chaque période consistent à habituer les animaux à la longueur de chaîne. Le [Tableau 5](#) montre la répartition des jours de mesure selon les paramètres sur une période type de 14 j. Au niveau du matériel nous avons utilisé un jeu de 20 piquets en fer à béton de 50 mm de diamètres, 12 seaux pour la collecte des bouses, 17 sondes d'humidité de type « Watermark », un herbomètre-plateau à boîtier électronique, un peson ainsi qu'un système d'irrigation.

Jours	Arrosage	Humidité		Salissure		Prélèvements d'herbe		Hauteur d'herbe		Bouses
		Score	Sondes	Score	Photo	Lavée	Pas lavé	Entrée	Sortie	
Lu			X					X	X	
Ma	(X)		X					X	X	
Me	(X)		X					X	X	
Je	(X)	X	X			X	X	X	X	
Ve	(X)	X	X			X	X	X	X	
Sa	(X)	X	X					X	X	
Di	(X)	X	X					X	X	
Lu	(X)	X	X	X	X	X		X	X	X
Ma	(X)	X	X	X	X	X		X	X	X
Me			X	X	X			X	X	X
Je			X	X	X			X	X	X
Ve			X	X	X			X	X	X
Sa			X							
Di			X							

() à l'appréciation du niveau d'humidité

Tableau 5 : Planning de mesure sur une période

2.4. Les parcelles expérimentales

Trois parcelles du domaine de Duclos à Petit-Bourg ont été utilisées, la parcelle P12-15 (1,98 ha) décomposée en 4 sous-parcelles (P12, P13, P14 et P15), la parcelle P17 (0,65 ha) et en moindre mesure la parcelle 1a (0,28 ha). La parcelle 1a n'a été utilisée qu'une seule fois pendant les trois premiers jours d'adaptation de la période 4 de la vague 1. Au niveau de leur gestion les parcelles étaient laissées en pâturage pendant une durée variable de 7 à 10 jours afin d'exploiter au maximum la ressource en herbe. La période de pâturage était suivie d'une fauche de la parcelle à 2 cm de hauteur et d'une fertilisation minérale de 150 kg/ha (NPK 27-9-18). Pour chaque offre les bovins ont donc eu une qualité et une hauteur d'herbe similaire. Selon les conditions climatiques un arrosage était réalisé afin de favoriser la repousse.

D'après la carte des sols de l'INRA le sol des parcelles est principalement de type brun d'alluvions récents (P12-15 et P17) et d'alluvions ferrallitiques (parcelle 1a) (Figure 13).

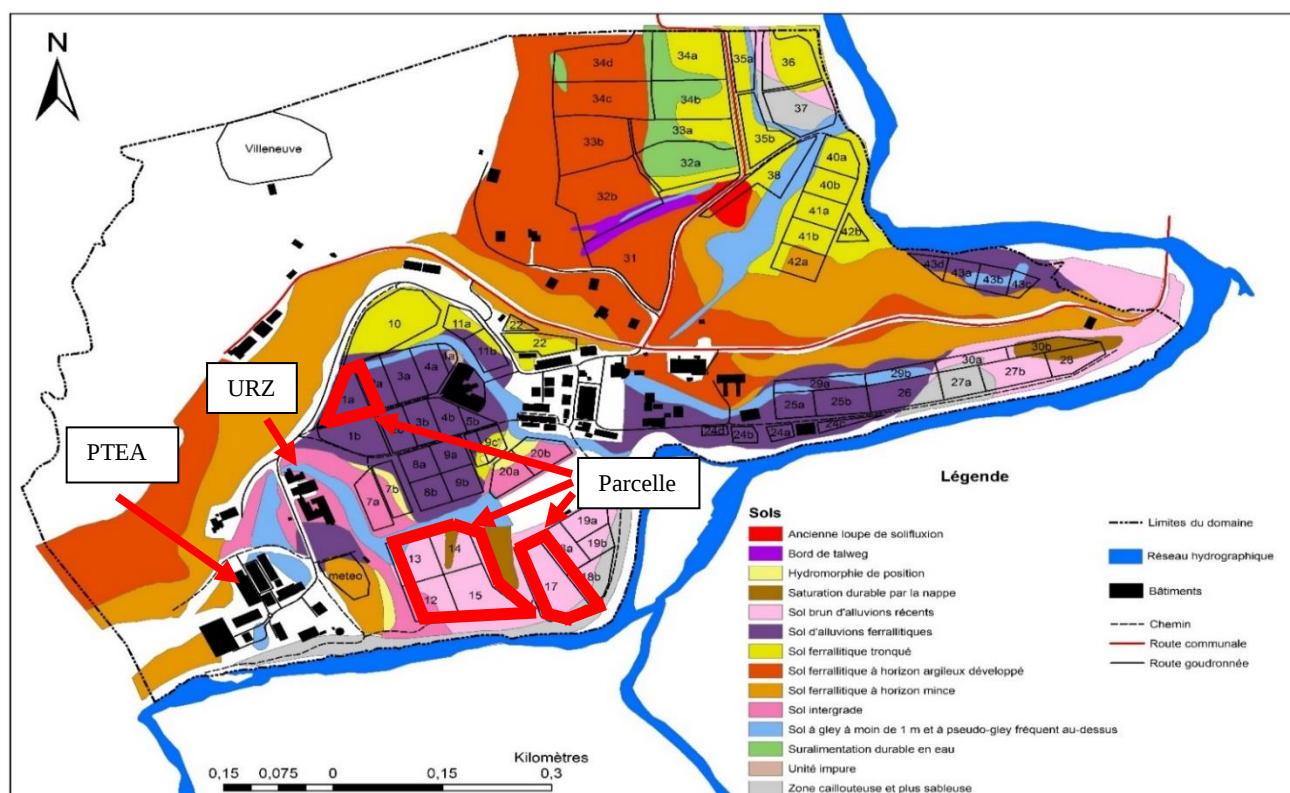


Figure 13 : Parcelles utilisées et caractéristiques des sols

La granulométrie et la matière organique des sols des différentes parcelles, réalisées par le laboratoire d'analyses des sols (LAS) d'Arras (labo INRA) en janvier 2017, sont présentées dans le Tableau 6. Ainsi nous pouvons voir que la parcelle P17 à une teneur en argile plus faible que les autres ainsi qu'une teneur en sable grossier plus élevée. Cette différence de composition ainsi que la topographie en pente de la parcelle P17 se traduisent par un pouvoir drainant plus fort. Cela peut expliquer le fait que pour recréer des conditions humides nous avons dû arroser plus longtemps (environ 4 à 5h de plus) que pour les parcelles P12-15. La parcelle 1a n'ayant été utilisée que 3 jours et durant la période d'adaptation elle n'a pas été concernée par les analyses de sol.

Parcelle	Granulométrie (g/kg de sol sec)					Matière organique (g/kg sol)
	Argile	Limons fin	Limons grossier	Sable fin	Sable grossier	
12-15	443	292	80	93	92	72,7
15 partie haute	414	283	81	86	136	76,2
17	332	252	70	107	239	60,1

Tableau 6 : Granulométrie et teneur en matière organique des sols des parcelles expérimentales

Au niveau de la composition florale les parcelles sont majoritairement composées en *Brachiaria mutica* (herbe de Para), cependant d'autres espèces sont présentes comme *Digitaria decumbens* (Pangola), *Pennisetum purpureum* (Merker), *Panicum maximum*, *Dichanthium annulatum*, *Mimosa pudica*, *Cyperus rotundus* et *Paspalum Fimbriatum*. Les trois dernières espèces citées, très minoritaires, ne sont pas appétentes et sont donc très peu consommées par les bovins.

2.5. Les mesures à l'échelle de la parcelle expérimentale

2.5.1. Calcul des surfaces allouées

Dans un premier temps une calibration entre la hauteur d'herbe et la biomasse a été réalisée. Des hauteurs d'herbe entre 2 et 37 cm ont été mesurées à l'intérieur d'un quadra de 30 * 30 cm (900 cm²) et l'herbe y a ensuite été prélevée à l'aide d'un taille-herbe manuel sans fil (Isio, Lithium-Ion Technology, BOSCH). Le séchage à l'étuve pendant 24h à 105°C des échantillons d'herbe a permis d'obtenir les valeurs de matière sèche sur 900 cm² et d'en déduire pour chaque quadra une valeur de biomasse (BMS). Une fonction mathématique a ensuite été établie entre la hauteur d'herbe (HH) et la BMS : $BMS (g MS/m^2) = (8,79 + 0,0862 * HH) / 0.09$ ($R^2 = 0,52$, $n = 167$). Ce calcul a été mis en relation avec les besoins journaliers de l'animal : Besoins = offre (g MS/kg PM/j) * PM. Ainsi en faisant la division des besoins de l'animal par la BMS nous obtenons la surface de pâturage à allouer pour l'animal. Pour obtenir la longueur de chaîne nous calculons le rayon de la surface ($\sqrt{S/\pi}$, avec S = surface) tout en soustrayant l'allonge de l'animal (entre 60 et 80 cm). L'allonge correspond à une valeur individuelle considérant la capacité de l'animal à pâturer plus loin grâce à l'extension du coup et de la langue. Les hauteurs d'herbe d'entrée et de sortie sont mesurées chaque jour à l'aide d'un herbomètre à plateau avec boîtier électronique. Afin d'avoir des hauteurs représentatives 15 mesures sont prises pour chaque rond à chaque entrée et sortie.

2.5.2. L'humidité du sol

Au niveau de l'humidité du sol, trois indicateurs sont utilisés, le potentiel matriciel, le score d'humidité et la pluviométrie. Pour la pluviométrie les données proviennent de la station météo de Duclos située à moins de 100 m des parcelles expérimentales (interface web CLIMATIK). Au niveau du sol 17 sondes sont réparties sur l'ensemble de la parcelle de manière à avoir une mesure représentative de l'hétérogénéité éventuelle du terrain. Lorsqu'un arrosage est réalisé seule la ligne de sonde la plus proche des animaux est prise en compte étant donné que nous arrosons que les ronds du lendemain. Les sondes sont placées sur les parcelles au moins 72h avant l'entrée des animaux et mesurées chaque matin. Afin de compléter ces deux mesures un score d'humidité est réalisé sur chaque rond de pâturage à partir de trois prélèvements de sol par rond seulement pendant la période de mesure. Ce score consiste à évaluer l'adhérence du sol après malaxage dans la main. Quatre scores ont été définis : 0 friable, 1 faiblement collant, 2 collant et 3 sol liquide. En condition SEC le score doit être inférieur ou égal à 1 et en conditions HUM il doit être supérieur ou égal à 2. Ces trois mesures nous ont permis d'évaluer l'humidité du sol mais ont également constitué un outil d'aide à la décision pour juger de la nécessité d'arrosage des ronds. Afin d'évaluer la salissure de l'herbe, des prélèvements d'herbe avant pâturage, après 8h de pâturage et à la sortie des animaux (après 24h de pâturage) ont été effectués à l'aide d'une micro-tondeuse BOSH.

2.5.3. Prélèvements et évaluation de la salissure de l'herbe

Afin que ces prélèvements correspondent à l'herbe retrouvée dans les fèces les mesures d'herbe ont été réalisées deux jours avant le début de la période de mesure. Pour chaque mesure une bande d'herbe est tondue le long d'un rayon du rond de pâturage ou alors une bande à l'extérieur des ronds pour les mesures avant pâturage afin de ne pas fausser l'offre fourragère. Les prélèvements sont ensuite mis 48h à 70°C dans une étuve. Les échantillons sont pesés avant et après leur mise à l'étuve afin d'évaluer la teneur en matière sèche. L'objectif de ces prélèvements est d'évaluer la quantité de sol adhérente à la plante via le dosage du titane. Les prélèvements avant pâturage servent à quantifier le sol présent sur la plante sans effet du pâturage. Afin de compléter ces mesures des photos des ronds avant et après pâturage sont prises et un score de salissure est attribué à chaque rond. Ainsi en fonction des traitements nous pouvons suivre l'évolution des proportions de chaque classe et évaluer l'évolution de la salissure. Ne faisant pas la distinction entre le sol nu, le sol fixé sur les feuilles et les débris il est difficile d'utiliser cet indicateur pour quantifier exactement la salissure de l'herbe. Néanmoins il permet d'observer une différence entre les différents traitements. Le score salissure consiste lui à évaluer le pourcentage de salissure de l'herbe et de sol nu à l'échelle du rond. Les scores sont réalisés durant les 5 jours de prélèvement des bouses.

2.5.4. Prélèvements de bouses et mesures de quantités et de digestibilité du fourrage ingérées

La totalité des bouses de chaque bovin déposées au sol en 24 h est récoltée lors des 5 jours de chacune des 6 périodes de mesures. Un échantillon de bouse est prélevé par animal en évitant de prendre les parties souillées par le sol ou la végétation. Afin d'obtenir la proportion en MS de chaque échantillon, ils sont mis à l'étuve 72h à 70°C. Les 5 échantillons correspondant à un animal et à une période sont poolés puis broyés. Un dosage de titane sera effectué sur ces échantillons pour permettre d'estimer la proportion de sol ingéré (cf partie 2.6.). Ces échantillons de fèces seront également dosés pour leurs teneurs cendres et MAT afin d'estimer la quantité d'herbe ingérée par animal par jour via la digestibilité de la MO et de la MS.

2.5.5. Prélèvement de sol

Afin de quantifier le sol ingéré par l'animal au pâturage une analyse de titane a été effectuée sur un échantillon de sol pour chaque parcelle. Chaque échantillon était constitué de 10 prélèvements de 100 g par parcelle. Afin de récupérer uniquement le sol un double tamisage (1,18 mm) en voie humide a été réalisé.

2.5.6. Analyse qualité de l'herbe

Dans l'objectif de déterminer la digestibilité de la MS et la valeur nutritionnelle de l'herbe ingérée, quatre prélèvements d'herbe sont réalisés à chaque période (j-3, j-4, j1 et j2 ; j1 étant le premier jour de récolte des bouses). Chaque échantillon a été lavé afin de ne pas prendre en compte les particules de sol adhérentes sur la végétation, pesé avant et après mise à l'étuve (48h à 70°C) afin de déterminer la matière sèche. Les dates de prélèvement mentionnées dans cette partie sont valables pour les six traitements et pour chacune des deux vagues d'animaux.

2.6. Analyses et calculs

La mesure du titane (Ti) dans le sol, dans l'herbe et dans les fèces a permis d'estimer l'ingestion de sol par les bovins. En faisant varier l'offre fourragère et l'humidité du sol sur la parcelle on pourra mieux cerner le risque d'ingestion de sol (donc de polluants éventuels). Les analyses de titane dans les échantillons de bouses, d'herbe et de sol sont réalisées sur des échantillons broyés passés à l'étuve (48h à 70°C) la nuit précédant l'analyse par le laboratoire Chrono-environnement de Besançon qui dose cet élément à base d'une ICP-MS (LQ à 0,2 µg/L). Les analyses titane réalisées sur les trois matrices herbe, sol et fèces ont permis d'évaluer la proportion de sol ingéré : $\text{PropSOL (\% MS)} = ([\text{Ti}]_{\text{herbe}} - [\text{Ti}]_{\text{bouse}} + \text{digMS} \times [\text{Ti}]_{\text{bouse}}) / (\text{digMS} \times [\text{Ti}]_{\text{bouse}} - [\text{Ti}]_{\text{sol}} + [\text{Ti}]_{\text{herbe}})$ avec : $[\text{Ti}]_{\text{herbe}}$ = concentration de titane dans l'herbe (mg/kg MS d'herbe), $[\text{Ti}]_{\text{bouse}}$ = concentration de titane dans les bouses (mg/kg MS fécale) et $[\text{Ti}]_{\text{sol}}$ = concentration de titane dans le sol (mg/kg de sol sec). Le titane (Ti) est présent en grande quantité dans le sol (plusieurs grammes par kg) mais très faiblement dans l'herbe (< 10 mg/kg). Le Ti est donc un bon indicateur. L'absorption de Ti lors des processus digestifs est négligeable donc le Ti des fèces peut donc être attribué à l'ingestion de sol. La quantité de sol a donc été déterminée de cette façon : $\text{QSOLing [g/jour]} = \text{MSing [g/jour]} \times \text{PropSOL [entre 0 et 1]}$.

Concernant les analyses chimiques de l'herbe hors titane, pour chaque échantillon poolé (par période) et broyé ont été évaluées les teneurs en MS (60°C pendant 48h, URZ), cendres totales (passage au four à moufle 6h à 550°C, URZ), matières azotées totales (MAT, méthode Dumas, URZ), NDF, ADF et ADL (méthode Van Soest et Wine (1967), laboratoire InVivo), cellulose brute (méthode Weende, laboratoire InVivo) et la digestibilité enzymatique (laboratoire InVivo). Les échantillons de fèces ont également été dosés pour déterminer les teneurs en MS, cendres totales et MAT (URZ) selon les mêmes procédés que ceux cités pour l'herbe. Les différentes méthodes vous sont présentées en [ANNEXE 11](#).

La matière sèche ingérée a été estimée pour les 5 derniers jours de chaque période selon la relation suivante : $\text{MSing} = \text{MOing} \times 100/\text{OMh}$ où OMh est la proportion (en %) de MS contenue dans l'herbe ingérée. La MO ingérée est quant à elle calculée via l'équation suivante : $\text{MOI} = \text{MOfecTot} / (1 - \text{dig MO})$ avec MOfecTot représente l'excrétion fécal sur 24h exprimée en matière organique. La MOfecTot est calculée grâce au poids sec des fèces et la proportion de MO sur la période de 24h et la digestibilité de la MO de la ration. Ainsi $\text{MOfecTot} = \text{MSfecTot} \times (100\% - \text{cendres (EchTi)})$ avec $\text{MSfecTot} = \text{P frais (FecTot + Ech Ti)} \times \% \text{MS (Ech Ti)}$. La quantité de sol ingéré peu réduire l'estimation de la digestibilité de la MS de la ration et peut donc influencer la quantité de MS ingérée journalière. Afin d'éviter ce biais nous avons d'abord calculé la MO ingérée puis ajouté la proportion de cendres brutes pour obtenir la MS ingérée par jour et par animal. Grâce au dosage de MAT dans les échantillons nous avons calculé la digestibilité de la MO de la manière suivante (Boval et al., 1996) : $\text{dig MO} = 0.983 - 4.002/\text{CPf [g MATfec/kg MS]}$ avec $\text{MATfec} = 6.23 \times \text{teneur en N des fèces}$. La digestibilité de la MS de la ration est établie par l'équation suivante : $\text{Dig MS} = \text{digestibilité de la matière sèche de l'herbe (entre 0 et 1)} = \text{MO} \times \text{dig MO} + \text{Cendres totales (quantité en matière minérale} \times 0,57 \text{ avec } 0,57 \text{ obtenu d'après la biblio (Wagner et al., 1977))}$.

Par le biais d'une image test 15 classes de couleur ont été identifiées puis les pixels ont été codés via le logiciel statistique R. Les photos des ronds sont donc analysées via le même logiciel afin de déterminer la proportion (via le nombre de pixel par classe) de chaque classe de couleur. Les 15 classes sont ensuite regroupées en 3 groupes, une classe sol-débris, une classe tiges-débris et une classe feuilles. Cela nous a permis de déterminer l'effet du pâturage selon les différentes offres. En parcourant la littérature nous avons identifié l'index VARI comme étant le plus adapté (Ballesteros et al., 2014) (équation ci-dessous).

$$VARI = \frac{R_{GREEN} - R_{RED}}{R_{GREEN} + R_{RED} - R_{BLUE}}$$

Selon la couleur réfléchiée par les différents composants de la photo nous pouvons évaluer la proportion de chaque classe. Pour chaque période et animal les échantillons d'herbe ont été poolés. Les échantillons de sol sont quant à eux poolés par parcelle. Au total 414 photos ont été analysées, soit entre 34 et 35 photos par période. Chaque jour de mesure, une photo à la sortie de pâturage a été prise pour chaque animal. En plus de ces photos, des prises de vue avant pâturage ont été réalisées afin d'offrir une meilleure comparaison.

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (version 1.0.136). Les données concernant l'herbe (qualité, pâturage, teneurs en Ti), le sol (teneur en Ti) et l'animal (MOI, MSI, sol ingéré) sont les variables qui ont été testées selon un modèle linéaire mixte avec l'offre et l'humidité du sol comme effets fixes et l'individu comme effet aléatoire. Les individus sont considérés comme unité expérimentale. Pour les scores d'humidité du sol, une analyse de répartition (chi-squared) a été réalisée, et pour les valeurs des sondes nous sommes passés par une analyse de type GLM puis par un test de comparaison des moyennes (test de Tukey). Afin d'évaluer l'effet discriminant des trois offres fourragères (BAS, HAUT, ADLIB) nous avons analysé plusieurs paramètres. Les analyses statistiques ont consisté en une analyse Anova puis d'un test de comparaison des moyennes (test de Tukey) ou d'un test GLM selon la normalité des résidus évaluer par le test de Shapiro-Wilck. Ces tests ont été utilisés pour l'ensemble des analyses.

2.7. Les enquêtes de terrains

Le but de ces enquêtes de terrains est d'intégrer l'expérimentation présentée dans ce rapport dans un contexte plus large, celui d'une pollution à long terme de l'environnement antillais par le chlordécone. Ces enquêtes ont été réalisées en coopération et sous la direction de Bérangère Merlot dans le cadre du projet INSSICCA (WP5). Les objectifs des entretiens sont :

- Identifier les pratiques effectives des éleveurs sur la Basse-Terre qui présente à elle seule une grande variabilité de systèmes d'élevage, potentiellement similaires à celle du croissant bananier ;
- Dans le cas d'éleveurs concernés par des terrains et/ou des animaux contaminés par le chlordécone, identifier les changements de pratique mis en œuvre.

Les enquêtes sont basées sur un échantillon de 50 éleveurs. Bérangère Merlot n'ayant commencé son travail d'enquête qu'en Mai nous n'avons pas pu rencontrer la totalité des 50 éleveurs durant ma période de stage. Mon travail s'appuie donc sur un échantillon de 10 éleveurs rencontrés plus les retranscriptions de 20 enquêtes réalisées par M. MAHIEU entre 2011 et 2015.

- 20 éleveurs rencontrés par M. MAHIEU, entre 2011 et 2015 (parmi eux, au moins 5 ont depuis arrêté l'élevage)
- 30 éleveurs sélectionnés parmi le fichier de données de M. MAHIEU, en fonction de la diversité de leurs pratiques et en prenant contact avec la SICA Cap-Viande

La méthode d'entretien retenu ici et celle semi-directive, le guide d'entretien vous est présenté en [ANNEXE 13](#). Le but a été de recueillir un savoir propre et un savoir commun que la personne interrogée partage avec d'autres acteurs locaux, ici d'autres éleveurs. L'éleveur est un informateur. Un ensemble de question a été posé à toutes les personnes rencontrées (la grille de l'entretien) et on avait à disposition des notes visant à rebondir, en fonction de l'orientation prise. Nous nous sommes attachés à créer une interaction, un dialogue avec la personne interrogée. Pour cela, tant que possible, on a veillé à réduire l'artificialité de la condition de l'entretien : en faire une situation la plus banale possible. Nous avons oscillé entre consultation (questions) et récit (écoute) afin de garder le contrôle de l'entretien tout en laissant l'éleveur s'exprimer à sa façon. En combinant empathie et distance nous avons essayé de ne pas donner l'impression qu'il s'agit d'un interrogatoire (contexte « culpabilisant » de la chlordécone). Le fil de l'entretien fut tissé en fonction de ce qui a été dit, par le biais de questions faisant sens pour l'éleveur. La trame de l'entretien a été rédigée en ce sens : vocabulaire choisi pour une compréhension immédiate du propos ; qui a été ensuite retranscrit dans une écriture plus technique visant à exprimer et à décrire la compréhension des logiques d'action, dans le cadre de la recherche. Le contexte méta-communicationnel, contenant des informations favorisant la compréhension des réponses à la problématique a été pris en compte. L'éleveur nous a accordé du temps. En retour nous lui avons retourné notre travail de restitution ainsi que les photos prises chez lui afin de le sensibiliser à notre travail et que cet échange lui soit aussi bénéfique au-delà de la visée finale du projet. L'objectif étant d'entretenir une relation de confiance avec ces éleveurs, dans la perspective de la démarche participative, et au-delà.

Les biais potentiels ont été :

- Contexte de décrédibilisation de l'INRA, depuis plusieurs années : certains agriculteurs refusent désormais de consacrer du temps aux entretiens, quels qu'ils soient.
- La motivation pour les éleveurs de participer à cet entretien. Pour les 20 éleveurs rencontrés par M. MAHIEU, la volonté était induite par une convention tripartite éleveur/DAAF/INRA (la DAAF achetait les carcasses contaminées à l'abattoir en « échange » de ces données fournies à l'INRA). Cette convention n'était plus en vigueur.
- Réponses « attendues », d'une position craintive ou culpabilisée.
- La subjectivité de l'enquêteur.

3. Résultats

3.1. L'humidité du sol

3.1.1. Le score d'humidité du sol

Suite à nos analyses, aucun effet significatif de l'offre n'a été observé sur le score d'humidité que ce soit pour le traitement « HUM » ($P = 0,46$) ou le traitement « SEC » ($P = 0,78$). Par contre un effet significatif du facteur humidité du sol est ressorti ($P < 0,05$). Les scores sont donc significativement différents entre le traitement « HUM » et le traitement « SEC ».

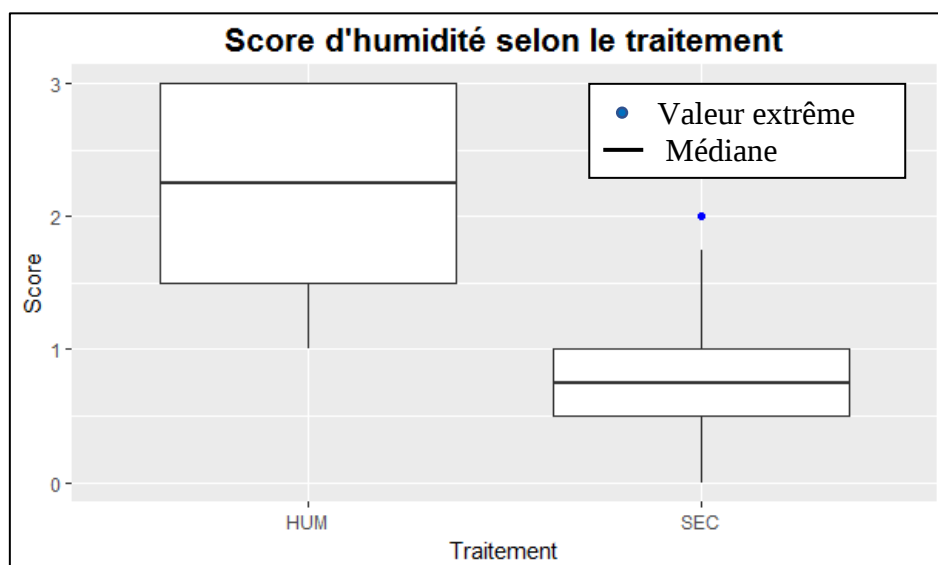


Figure 14 : Le score d'humidité du sol à la surface selon le traitement

Sur ce premier graphique (Figure 14), le trait noir représente la médiane et le point bleu représente un outlier (valeur extrême). Nous pouvons voir une nette différence entre les deux niveaux d'humidité. Pour rappel le score 0 représente un sol très sec et le score 3 un sol très humide. On peut observer que pour le traitement « HUM » nous avons une plus forte proportion de scores entre 2 et 3 alors que pour le traitement « SEC » nous avons une dominance des scores allant de 0 à 1. Il y a donc eu un effet discriminant de nos deux traitements. Toutefois pour certaines périodes on peut observer une zone de chevauchement des scores entre 1 et 1,75 pour les deux niveaux d'humidité. Un autre constat est une plus grande variabilité des mesures au sein du traitement « HUM ». Cette variabilité peut s'expliquer par la plus grande difficulté à maintenir un niveau humide homogène dicté par les précipitations et par un fort effet de la parcelle. À la vue de ce premier graphique, nous pouvons supposer que nous avons bien respecté deux niveaux d'humidité différents. Afin de confirmer cette hypothèse, nous allons maintenant étudier les potentiels matriciels mesurés à l'aide des sondes.

3.1.2. Le potentiel matriciel

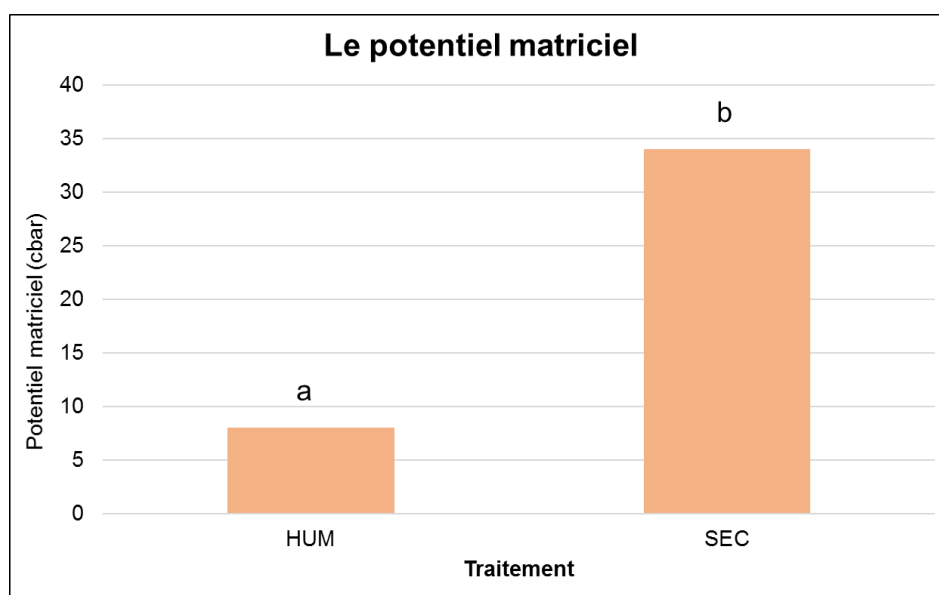
Le Tableau 7 représente la valeur moyenne du potentiel matriciel du sol exprimé en centibar (cbar) selon la période et la vague d'animaux. Les lignes « Test » représentent la significativité entre les différentes moyennes de chaque groupe. Pour les périodes les chiffres impairs représentent les traitements « HUM » et les chiffres pairs les traitements « SEC ».

Vague	Période					
	1	2	3	4	5	6
1	8,7 ^{de}	42,55	7,0	4,6	7,6	39,9
2	6,7	22,3	6,4	19,6	7,4	64,6
Test	de	C	de	Cd	de	a

a, b, c, d, e, Les valeurs avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0,05$.

Tableau 7 : Mesure du potentiel matriciel du sol selon la période

Pour les traitements humides, nous observons que la valeur mesurée est toujours inférieure à la valeur maximum fixée de 10 cbar. Les mesures oscillent de 6,4 cbar pour la période 2 vague 2 à 8,69 cbar pour la période 1 vague 1. Que ce soit selon la vague ou selon la période, aucune différence significative n'est observée au sein du traitement « HUM ». Pour le traitement « SEC » seule la période 4 de la vague 1 est inférieure à la valeur minimum fixée de 19 cbar (4,6 cbar). Cependant cette observation n'est pas confirmée par les scores d'humidité qui indiquent pour cette même période un niveau sec (entre 1 et 1,5). Pour la même période, les potentiels matriciels sont tous significativement différents les uns des autres. Par contre pour la vague 1 le potentiel de la période 2 et de la période 6 ne sont pas significativement différents, ils sont respectivement de 42,5 cbar et de 39,9 cbar. Il en est de même pour les périodes 2 et 4 de la vague 2 avec des potentiels respectifs de 22,3 cbar et 19,6 cbar. Concernant le potentiel matriciel en traitement « SEC », aucune valeur maximum n'a été définie. Cependant nous pouvons observer que la période 2 de la vague 2 s'est déroulée durant une période avec des conditions significativement plus sèches que les autres (64,6 cbar). Les valeurs des sondes sont toutefois à relativiser, nous en discuterons dans la partie discussion de ce rapport. Ce premier constat nous permet de voir que pour la totalité des traitements le niveau d'humidité du sol fixé a été respecté.



a, b Les valeurs avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0,05$

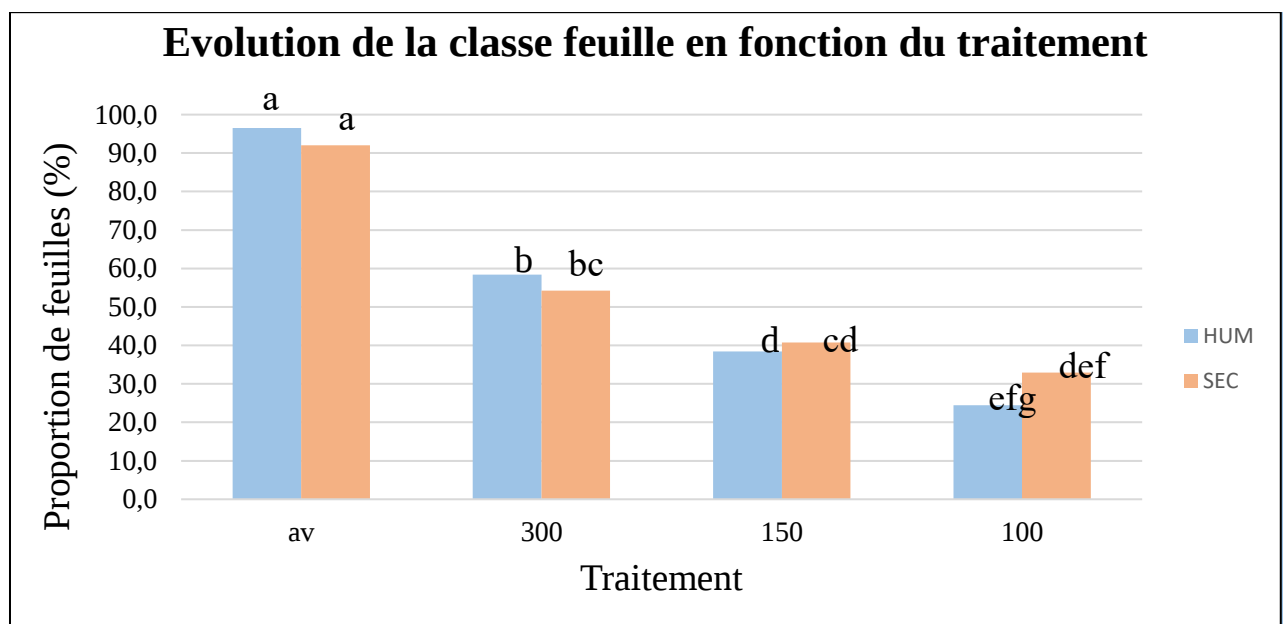
Figure 15 : Mesure du potentiel matriciel du sol selon le traitement

Ce dernier graphique (Figure 15) vient confirmer notre hypothèse selon laquelle nous avons bien appliqué deux niveaux d'humidité du sol différents. Un niveau humide correspondant à un potentiel moyen de 7,6 cbar et un niveau sec correspondant à un potentiel matriciel de 33,9 cbar, tous deux étant significativement différents ($P < 0,001$).

3.2. L'offre fourragère

3.2.1. Les photos des ronds de pâturage

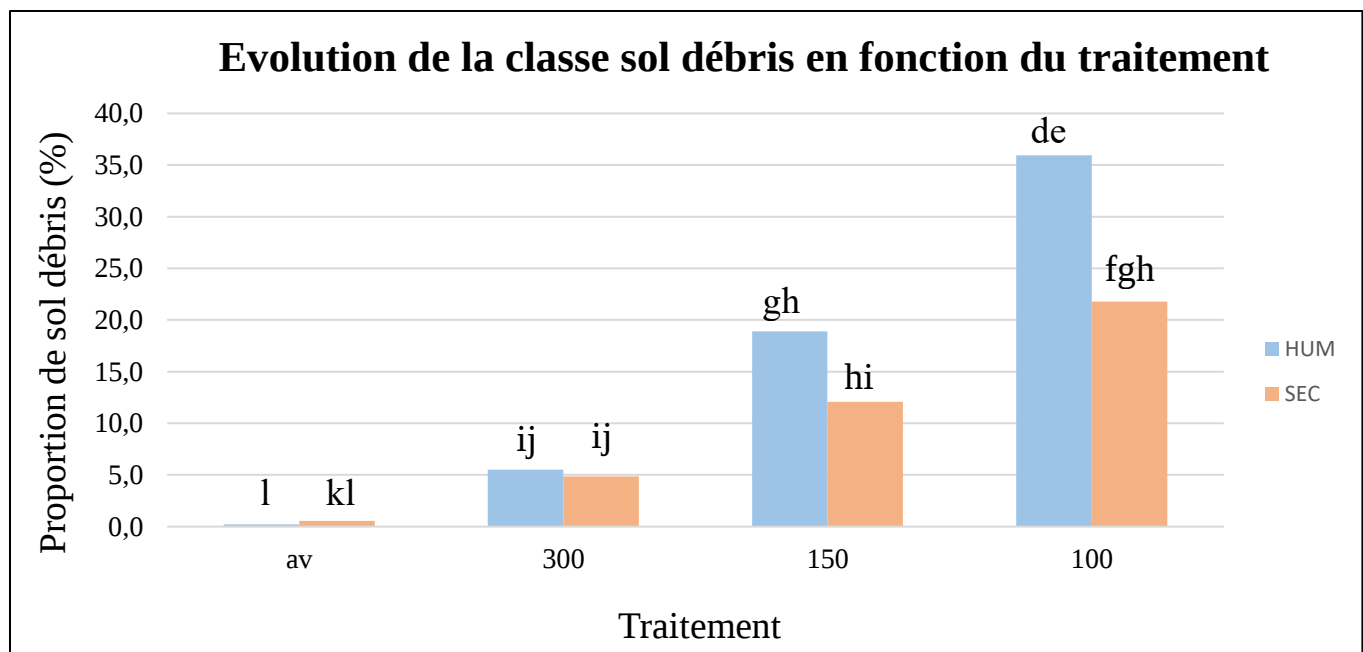
Sur la Figure 16 représentant la proportion de feuilles visibles, nous pouvons voir que celle-ci décroît en fonction de l'intensité de pâturage induite par l'offre fourragère. Le pourcentage de feuilles visibles avant pâturage (av) s'élève à 96,5% en conditions HUM et à 92% en conditions SEC avec une différence non significative. Pour l'offre 300 (AD LIB) on remarque que la proportion de feuilles visibles baisse significativement à 58,4% pour le traitement HUM et à 54,2% pour le traitement SEC. L'offre 150 (HAUT) a quant à elle induit une diminution du taux de feuilles significativement différente de l'offre 300 uniquement pour le traitement HUM (38,4%). Pour finir, on remarque que l'offre 100 (BAS) a entraîné une disparition des feuilles beaucoup plus élevée (24,5%), mais seulement pour le traitement HUM. En traitement SEC l'offre 100 est significativement différente de l'offre 300 avant pâturage, mais pas de l'offre 150. Les offres 300 et 150 ont induit une différence de proportion de feuilles non significative. Pour le traitement HUM, chaque offre implique une proportion de feuilles significativement différente. Cette analyse nous permet de mettre en évidence l'effet discriminant de nos différentes offres. On remarque que pour une même offre l'effet humidité n'est pas significatif ($P > 0,05$). L'offre 100 correspondant à l'offre la plus basse et donc à une pression de pâturage plus élevée qui a bien induit un pourcentage de disparition des feuilles plus élevé que les autres offres. Nous allons maintenant voir si la proportion de sol-débris confirme cette hypothèse. La proportion de feuilles visibles étant plus faible pour l'offre 100, la proportion de sol-débris devrait donc être plus élevée.



a, b, c, d, e, f, g Les valeurs avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0,05$.

Figure 16 : Evolution de la proportion de feuille en fonction du traitement

Sur ce premier graphique (Figure 17) nous pouvons voir que la proportion de sols débris est quasiment nulle avant pâturage. Elle est de 0,2% pour le traitement HUM et de 0,6% pour le traitement SEC avec aucune différence significative entre les deux niveaux d'humidité. Pour l'offre 300, le pourcentage s'élève à 5,5% pour le traitement humide et à 4,9% pour le traitement SEC. Entre les deux traitements HUM et SEC, aucune différence significative n'est observée. L'offre 150 entraîne une élévation de sol-débris de 18,9% en condition HUM et de 12,1% en condition SEC. L'offre 100 accroît encore cette différence en atteignant la valeur de 35,9% de sol-débris visibles pour le traitement HUM et 21,8% pour le traitement SEC. Au niveau de l'offre fourragère, seule l'offre 100 est significativement différente des offres 150 et 300. Il semblerait donc que plus l'offre est restreinte et plus les conditions sont humides plus la proportion de sols-débris est élevée. Pour le traitement HUM, nous observons une différence significative entre chaque offre alors que pour le traitement SEC seul une différence significative entre l'offre 300 et 100 est observée. Les proportions d'avant pâturage sont significativement différentes des proportions après pâturage pour les trois offres, quel que soit l'humidité du sol. Ce résultat permet de confirmer l'hypothèse faite lors de l'analyse des proportions de feuilles visibles. Nos offres ont induit des proportions de sols-débris et de feuilles différentes avec un gradient décroissant de l'offre 300 à 100 pour la classe feuille et croissant de l'offre 100 à 300 pour la classe sol-débris. Les figures 16 et 17 constituent deux indices nous permettant de rendre compte de l'effet discriminant de nos différentes offres. Nous allons maintenant nous intéresser aux paramètres de longueur de chaîne et de quantités ingérées.



d, e, f, g, h, i, j, k, l, Les valeurs avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0,05$.

Figure 17 : Evolution de la classe sol débris en fonction du traitement

PARTIE II. APPROCHE EXPERIMENTALE

	Offre			Période						P-value		
Paramètres de pâturage	100	150	300	1	2	3	4	5	6	Offre	Traitement	Période
Offre (g MS/kg PM)	98,6 ^c	146,2 ^b	297,3 ^a	185,2 ^a	179,9 ^a	176,9 ^a	180,4 ^a	182,4 ^a	179,3 ^a	****	NS	NS
MSing (kg MS/ 100 kg PV)	1,5 ^b	2,0 ^a	2,3 ^a	1,9 ^a	1,9 ^a	1,9 ^a	2,0 ^a	2,1 ^a	1,2 ^a	****	NS	NS
Digestibilité MS (%)	0,6 ^b	0,7 ^a	0,7 ^a	0,6 ^a	0,6 ^a	0,6 ^a	0,6 ^a	0,6 ^a	0,6 ^a	****	NS	NS
MOing (kg MO/100 kg PV)	1,4 ^b	1,9 ^a	2,1 ^a	1,7 ^a	1,7 ^a	1,8 ^a	1,8 ^a	1,9 ^a	1,8 ^a	****	NS	NS
Digestibilité MO	0,6 ^b	0,7 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	0,7 ^a	****	NS	NS
Fèces (g MS/100 kg PV)	581,4 ^b	621,1 ^b	685,7 ^a	611,5 ^a	625,7 ^a	615,2 ^a	639,5 ^a	670,5 ^a	618,6 ^a	****	NS	NS
Fèces (g MO/100 kg PV)	477,2 ^b	512,1 ^{ab}	571,4 ^a	495,9 ^a	509,9 ^a	513,3 ^a	529,6 ^a	555,5 ^a	517,3 ^a	**	NS	NS
Rayon de pâturage (m)	2,7 ^c	3,3 ^b	4,6 ^a	3,7 ^a	3,5 ^a	3,4 ^a	3,4 ^a	3,4 ^a	3,7 ^a	****	NS	NS
Aire pâturée (m ²)	23,2 ^c	34,5 ^b	69,1 ^a	45,9 ^a	42,5 ^a	40,5 ^a	39,9 ^a	40,3 ^a	46,0 ^a	****	NS	NS
HHE (cm)	10,6 ^a	10,9 ^a	11,1 ^a	10,1 ^{cd}	8,9 ^d	13,3 ^a	10,7 ^{bc}	11,5 ^b	10,4 ^{bcd}	NS	****	****
HHS (cm)	6,1 ^c	7,0 ^b	8,3 ^a	6,9 ^b	5,9 ^c	8,3 ^a	7,0 ^b	7,5 ^{ab}	7,0 ^b	****	****	****
Qualité du fourrage												
Teneur en MO (g/kg MS)	907,7 ^a	907,7 ^a	907,7 ^a	903,6 ^c	905,9 ^c	906,9 ^{bc}	911,4 ^{ab}	912,7 ^a	905,6 ^c	NS	NS	****
Teneur en MM (g/kg MS)	92,2 ^a	92,2 ^a	92,2 ^a	96,3 ^a	94,0 ^{ab}	93,0 ^{ab}	88,5 ^{bc}	87,2 ^c	94,4 ^a	NS	NS	****
Teneur en Ti (g/kg MS)	9,4 ^a	9,4 ^a	9,4 ^a	15,1 ^a	12,5 ^{ab}	8,0 ^{bc}	6,4 ^c	7,5 ^c	6,8 ^c	NS	NS	****
Teneur en lignine (g/100 g)	NA	NA	NA	3,7 ^a	4,2 ^a	3,3 ^a	3,1 ^a	4,7 ^a	3,1 ^a	NS	NS	NS
Teneur en cellulose brute (g/100 g)	NA	NA	NA	27,2 ^a	26,1 ^a	29,4 ^a	31,0 ^a	28,0 ^a	27,5 ^a	NS	NS	NS
Teneur en fibre totale (g/100 g)	NA	NA	NA	68,6 ^a	67,2 ^a	70,4 ^a	69,7 ^a	69,5 ^a	67,2 ^a	NS	NS	NS

MS : matière sèche ; PM : poids métabolique ; PV : poids vif ; MOing : matière organique ingérée ; MO : matière organique ; HHE : hauteur d'herbe à l'entrée du pâturage ;
HHS : hauteur d'herbe à la sortie du pâturage, Ti : titane, MM : matière minérale.

^{a, b, c, d} Les valeurs à l'intérieur d'une ligne avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0,05$.

La signification des P-values pour les effets testés sont **0,01 et ***0,001 ; NS : non significatif, NA : non applicable

Tableau 8 : Paramètres de pâturage, d'ingestion et de digestibilité selon l'offre, la période et le traitement

3.2.2. Caractéristiques de pâturage

En reprenant pour chaque période le poids estimé, la longueur de chaîne appliquée et la hauteur d'herbe mesurée à l'entrée, nous avons vérifié les offres réellement attribuées. Pour l'offre BAS (objectif de 100 g MS/kg PM) l'herbe réellement allouée fut de 98,6 g MS/kg PM, de 146,2 g MS/kg PM pour l'offre HAUT (objectif de 150 g MS/kg PM) et de 297,3 g MS/kg PM pour l'offre AD LIB (objectif de 300 g MS/kg PM) avec une différence significative entre chaque offre ($P < 0,001$). Ces offres allouées correspondent à des rayons de pâturage et d'aires pâturées significativement différents entre chaque offre ($P < 0,001$). Pour l'offre 100 le rayon moyen pâturé est de 2,7 m et l'aire moyenne pâturée est de 23,2 m², l'offre 150 est caractérisée par un rayon moyen de 3,3 m et une aire moyenne de 34,5 m². L'offre 300 a quand elle impliquée un rayon moyen de 4,6 m et une aire moyenne de 69,1 m². Au niveau de la hauteur d'herbe à l'entrée du pâturage elle n'est pas significativement différente selon les offres ($P > 0,05$). Elle est de 10,6 cm pour l'offre 100, de 10,9 cm pour l'offre 150 et de 11,1 cm pour l'offre 300. L'effet traitement a par contre un effet significatif ($P < 0,001$) sur la hauteur d'herbe entrée avec une hauteur significativement plus haute pour le traitement HUM (11,6 cm) que pour le traitement SEC (10,0 cm). Un effet significatif de la période est observé et est corrélé à l'effet du traitement. C'est-à-dire que toutes les périodes HUM ne sont pas significativement différentes entre elles ($P > 0,05$) tout comme pour les périodes SEC. Par contre toutes les périodes SEC et HUM sont significativement différentes entre elles ($P < 0,001$). De la pression de pâturage induite par les différents niveaux d'offre fourragère en résulte des hauteurs d'herbe à la sortie de pâturage significativement différentes entre chaque offre ($P < 0,001$). La hauteur d'herbe sortie de l'offre 100 (6,1 cm) est significativement ($P < 0,001$) plus basse que celle de l'offre 150 (7,0 cm) et la HHS de l'offre 300 (8,3 cm) est significativement ($P < 0,001$) plus haute que celle de l'offre 150 (7,0 cm). Tous les chiffres présentés dans cette partie sont présents dans le [Tableau 8](#).

3.2.3. Qualité du fourrage

Les qualités du fourrage (MO, MM et Ti) ne diffèrent pas selon l'offre et l'humidité du sol ($P > 0,05$), ([Tableau 8](#)). Par contre les qualités sont significativement différentes entre les périodes ($P < 0,001$). La MM est similaire entre les périodes 1, 2, 3 et 6 et les périodes 2, 3 et 4 et les périodes 4 et 5. La MO n'est pas significativement différente entre les périodes 1, 2, 3 et 6 et les périodes 3 et 4 et les périodes 4 et 5. Pour le titane ce sont les périodes 1 et 2 et les périodes 2 et 3 et les périodes 3, 4, 5 et 6 qui ne sont pas significativement différentes. D'après les résultats de l'analyse Van Soest présentés dans le [Tableau 8](#) sur l'ensemble de l'expérience la teneur en lignine du fourrage est de 3,7 g/100g, la teneur en cellulose brute est de 28,2 g/100 g et la teneur en fibre totale est de 68,7 g pour 100 g avec un effet non significatif de la période et du traitement ($P > 0,05$).

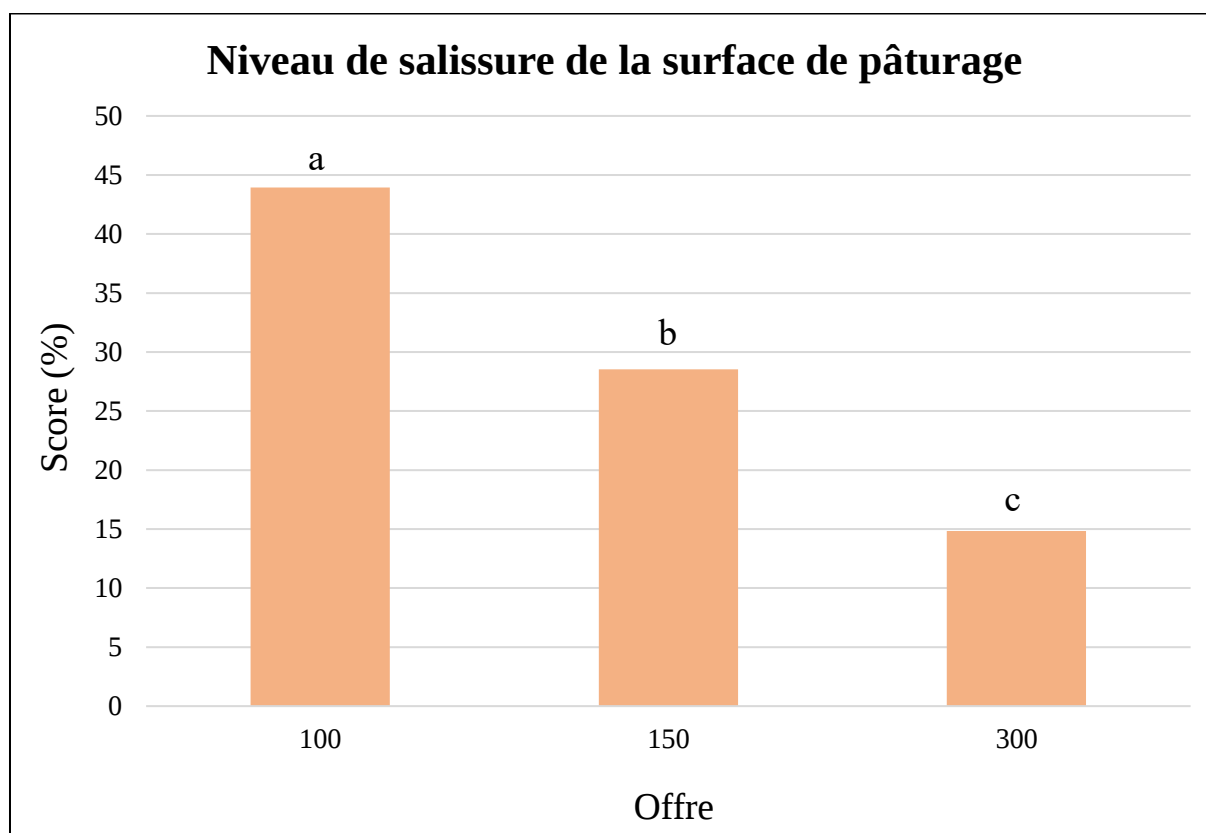
3.2.4. L'ingestion de fourrage

La production fécale exprimée en MO et MS est significativement différente ($P < 0,001$ exprimée en MS et $P < 0,01$ exprimée en MO) selon l'offre, mais pas selon le traitement ou la période ($P > 0,05$). Pour l'offre 100 la production de fèces exprimée en g de MS pour 100 kg de PV est de 581,4 g, elle est significativement plus faible que l'offre 300 (685,7 g) et significativement similaire à l'offre 150 (621,1 g). Exprimée en g de MS pour 100 kg de PV la production fécale pour l'offre 150 (512,1 g) est significativement similaire à l'offre 100 (477,2 g) et à l'offre 300 (571,4 g). Par contre les offres 100 et 300 sont significativement différentes.

En ce qui concerne la digestibilité de la MO exprimée en %, elle est significativement similaire ($P>0,05$) pour les offres 150 (0,7) et 300 (0,7), tandis que celle de l'offre 100 (0,6) est significativement plus basse ($P<0,001$) que celle de l'offre 150 et 300. La même distinction est faite pour la digestibilité de la MS avec une digestibilité de 0,6 pour l'offre 100 et de 0,7 pour les offres 150 et 300. Comme attendu l'ingestion de MO (kg MO/100 kg PV) pour l'offre 100 (1,4 unité) est significativement inférieure ($P<0,001$) à celles des offres 150 et 300, respectivement de 1,9 et 2,1 kg MO/100 kg PV ($P>0,05$). Cette disparité est également observée lorsque l'on regarde l'ingestion de MS pour 100 kg de PV avec une ingestion de 1,5 unité pour l'offre 100, de 2,0 unité pour l'offre 150 et de 2,3 unité pour l'offre 300.

3.3. L'ingestion de sol

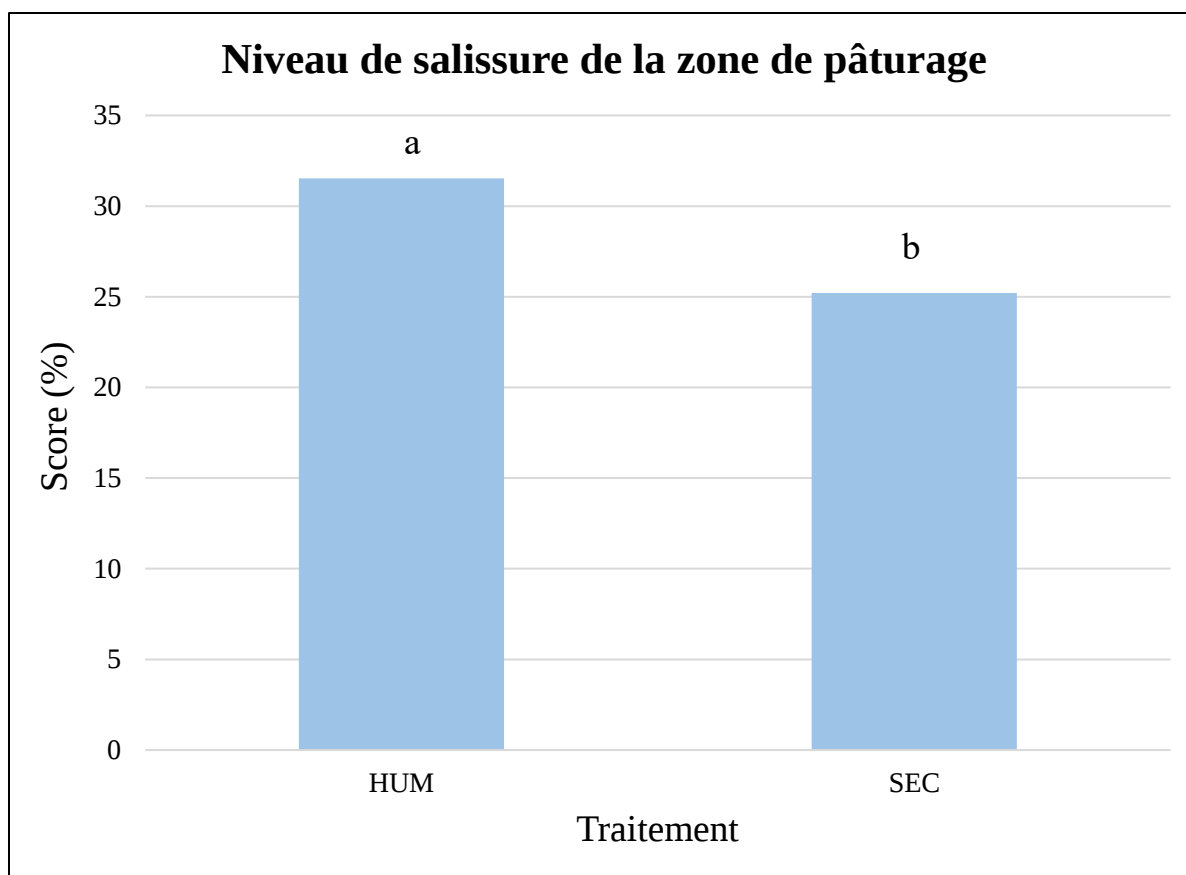
3.3.1. *La salissure de l'herbe*



a, b, c. Les valeurs avec un exposant différent sont significativement différentes à $P<0,05$.

Figure 18 : Niveau de salissure de la zone de pâturage selon le traitement

Le score salissure exprimé en % représentant le taux de sol visible sur le rond de pâturage est significativement différent selon l'offre et l'humidité (Figure 19) ($P<0,001$). Les scores sont respectivement de 43,9 %, 28,5 % et 14,8 % pour les offres 100, 150 et 300. En ce qui concerne l'humidité le score en condition HUM est de 31,5 % et de 25,2 % en condition SEC. Le score est significativement différent selon la période ($P<0,001$).



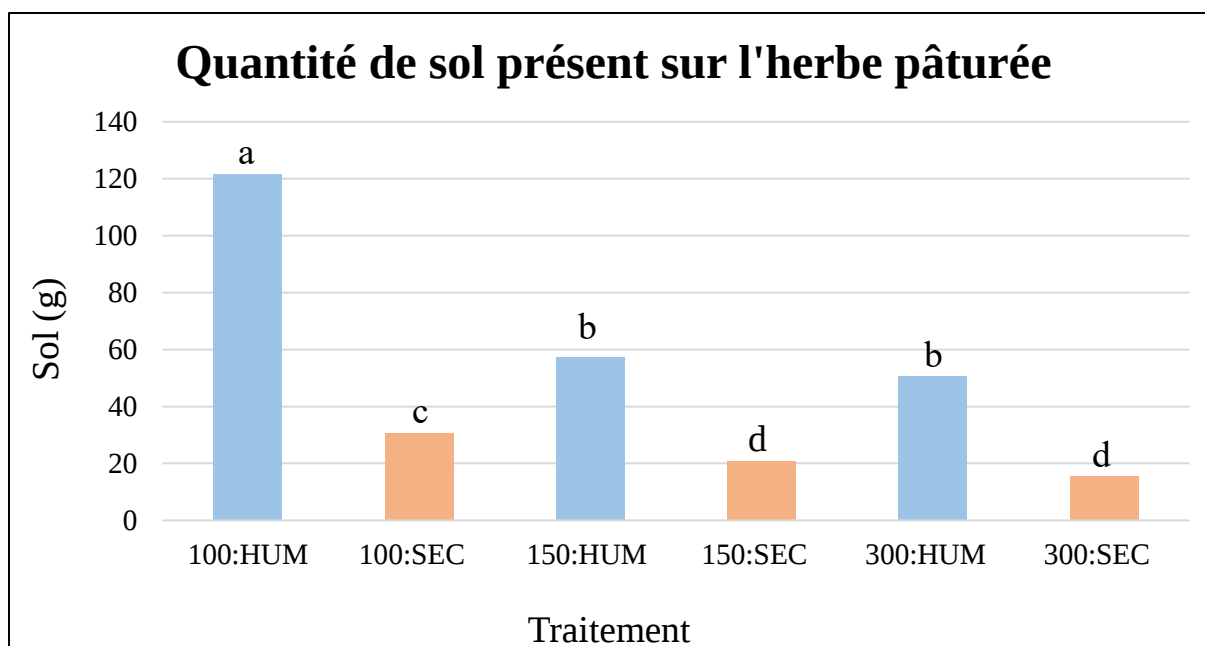
^{a, b}. Les valeurs avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0,05$.

Figure 19 : Niveau de salissure de la zone de pâturage selon l'offre

3.3.2. Quantité de sol sur le fourrage

Dans un premier temps la quantité de sol retrouvée sur le fourrage avant le pâturage des animaux n'est pas significativement différente selon la période ou l'humidité du sol ($P > 0,05$). Pour le traitement HUM elle est de 7,63 mg/kg MS et de 6,61 mg/kg MS pour le traitement SEC.

L'offre ($P < 0,01$), le traitement ($P < 0,001$), ainsi que la période ($P < 0,001$), ont un effet significatif sur la quantité de sols retrouvé sur le fourrage (Figure 20). La quantité de sol retrouvée sur l'herbe pâturée pour le traitement HUM est de 76,5 g/kg de MS en moyenne alors que pour le traitement SEC elle est de 22,3 g/kg de MS. Au sein du traitement HUM, la quantité de sol retrouvée sur le fourrage pour l'offre 100 (121,5 g de sol/kg de MS) est significativement plus élevée que pour les offres 150 (57,5 g de sol/kg de MS) et 300 (50,5 g de sol/kg de MS). La même disparité entre les offres au sein du traitement SEC est observée avec des quantités retrouvées sur l'herbe de 30,7 mg pour l'offre 100, de 20,7 g pour l'offre 150 et de 15,5 g pour l'offre 300. Pour chaque traitement la quantité de sol retrouvée sur le fourrage pour les offres 150 et 300 sont significativement similaires.



a, b, ,c, d. Les valeurs avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0,05$.

Figure 20 : Quantité de sol présente sur le fourrage après pâturage

3.3.3. *Proportion de sol et quantité de sol ingéré*

Variable	Offre			Traitement		P-value		
	100	150	300	HUM	SEC	Offre	Traitement	Période
DMS (%)	0,6 ^b	0,7 ^a	0,7 ^a	0,9 ^a	0,9 ^a	***	NS	NS
Prop sol (%)	1,3 ^a	1,1 ^{ab}	0,7 ^b	1,4 ^a	0,7 ^b	*	***	***

DMS : digestibilité de la matière sèche, Prop sol : proportion de sol ingéré par kg de MS

^{a, b} Les valeurs à l'intérieur d'une ligne avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0,05$.

La signification des P-values pour les effets testés sont *0,05, **0,01 et ***0,001.

Tableau 9 : Proportion de sol ingéré en pourcentage de la matière sèche en fonction de l'offre et du traitement

La proportion de sol ingéré exprimée en pourcentage de la MS ingérée est significativement plus élevée pour le traitement HUM (1,4%) que pour le traitement SEC (0,7%) ($P < 0,001$). La proportion de sol ingéré est significativement plus haute pour l'offre 100 (1,3%) que celle de l'offre 300 (0,7%) ($P < 0,05$). La proportion de sol ingéré pour l'offre 150 (1,1%) n'est par contre pas significativement différente de celle des offres 100 et 300 ($P > 0,05$). Un effet significatif de la période est également observé ($P < 0,001$). Ainsi les périodes 1 (1,3%), 2 (0,7%), 3 (0,8%) et 4 (1,2%) ne sont pas significativement différentes entre-elles, tout comme les périodes 2, 3 et 6 (0,2%) et les périodes 1 et 5 (2,3%). Tous les chiffres exposés ici sont présents dans le Tableau 9. Au sein du traitement humide et du traitement sec, l'offre n'a aucun effet significatif ($P > 0,05$).

Variable	Offre			Traitement		P-value		
	100	150	300	HUM	SEC	Offre	Traitement	Période
DMS (%)	0,6 ^b	0,7 ^a	0,7 ^a	0,9 ^a	0,9 ^a	***	NS	NS
Quantité sol (g/100 kg PV)	21,0 ^a	20,0 ^a	17,1 ^b	25,3 ^a	11,5 ^b	*	***	***
Ecart type	15,9	18,2	12,7	18,9	7,4			

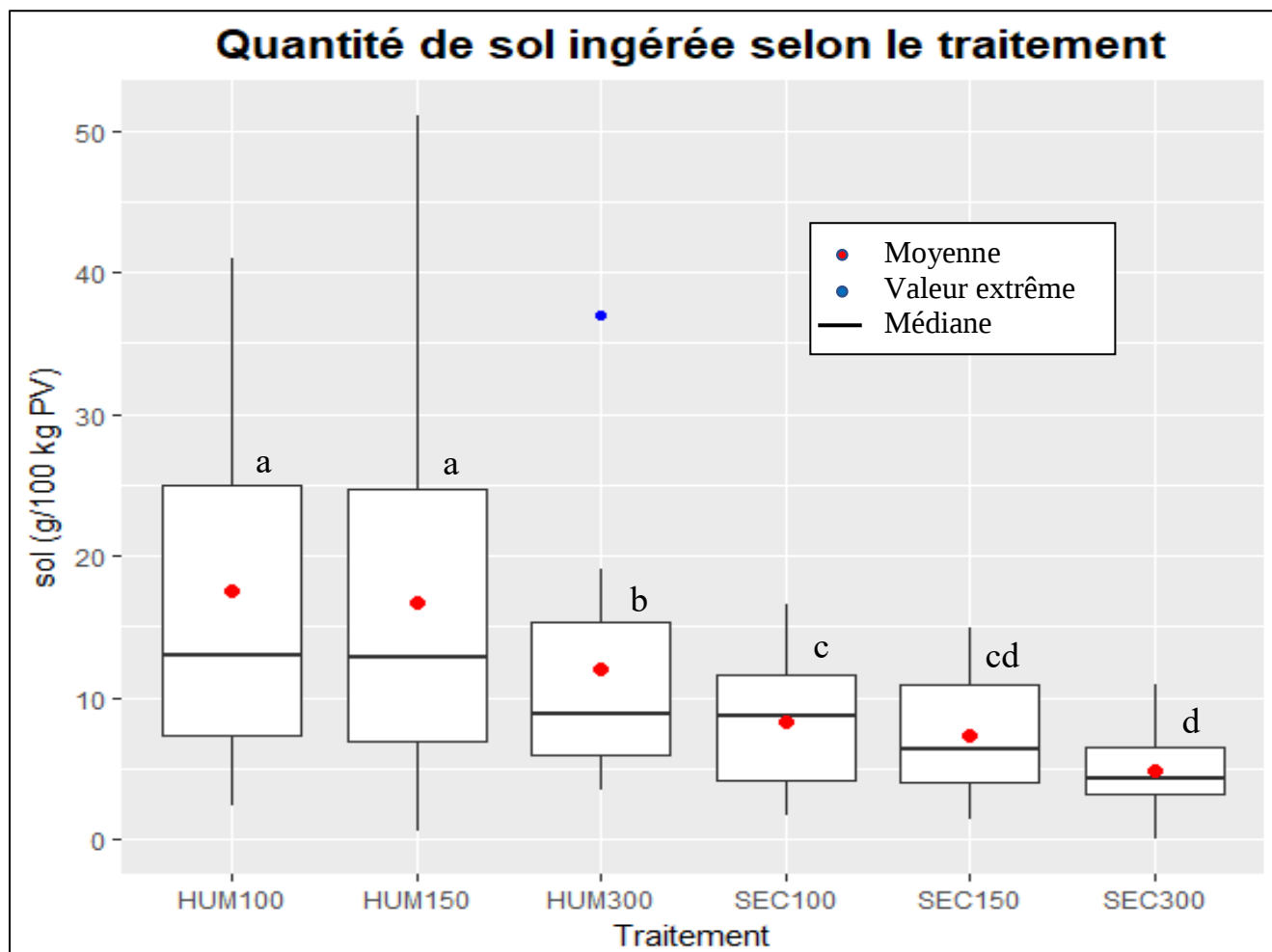
DMS : digestibilité de la matière sèche.

^{a, b} Les valeurs à l'intérieur d'une ligne avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0.05$.

La signification des P -values pour les effets testés sont * 0,05, ***0,001.

Tableau 10 : Quantité de sol ingéré par kg de matière sèche exprimée en milligramme

La concentration en titane du sol est significativement différente selon les parcelles ($P < 0,001$), elle est de 2404,2 $\mu\text{g/g}$ de sol pour la parcelle P14-15, de 2367,2 $\mu\text{g/g}$ de sol pour la parcelle P17 et de 1860,5 $\mu\text{g/g}$ de sol pour la parcelle P12-13. La concentration moyenne en titane du sol est donc différente selon les périodes ($P < 0,001$) car les effets parcelle et période sont confondus. Ainsi les concentrations en titane pour les deux vagues des périodes 3 (2367,2 $\mu\text{g/g}$), 4 (2385,7 $\mu\text{g/g}$) et 6 (2404,2 $\mu\text{g/g}$) ne sont pas significativement différentes tous comme les périodes 1 (2113,9 $\mu\text{g/g}$) et 2 (2132,3 $\mu\text{g/g}$). La période 5 est cependant significativement différente de toutes les autres périodes (1860,5 $\mu\text{g/g}$). Le titane contenu dans le fourrage est similaire pour chacune des périodes (9,2 $\mu\text{g/g}$) ($P > 0,05$).



^{a, b, c, d} Les valeurs sur les QQplot avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0,05$.

Figure 21 : Quantité de sol ingéré en fonction de l'offre et du traitement

L'humidité a un effet très significatif sur la quantité de sol ingéré ($P < 0,001$), elle est de 25,3 g/100 kg PV pour le traitement HUM et de 11,5 g/100 kg PV pour le traitement SEC (Tableau 10). Une autre observation est la variabilité des quantités ingérées plus élevée pour le traitement HUM ($\sigma=18,9$) que pour le traitement SEC ($\sigma=7,4$). L'offre a un également un effet significatif ($P < 0,05$) (Figure 20). Les quantités de sol ingéré pour les offres 100 (21,0 g/100 kg PV) et 150 (20,0 g/100 kg PV) sont toutes deux significativement plus élevées que celle de l'offre 300 (17,1 g/100 kg PV). Par contre les quantités de sol ingéré pour les offres 100 et 150 ne sont pas significativement différentes. Ainsi la quantité maximum de sol ingérée par jour pour 100 kg de PV survient dans le traitement HUM pour l'offre 150 (27,8 g/100 kg PV) avec une variabilité importante ($\sigma=22,5$). Par ordre décroissant nous avons pour le traitement HUM offre 100 une valeur d'ingestion de sol de 27,8 g/100 kg PV avec une variabilité également élevée ($\sigma=18,9$) et pour l'offre 300 une quantité de sol ingéré de 20,3 g/100 kg PV avec un écart type plus faible de 15,2. Au sein du traitement SEC, la quantité de sol ingéré maximum survient pour l'offre 100 (14,2 g/100 kg PV) puis pour l'offre 150 (12,2 g/100 kg PV) et pour finir pour l'offre 300 (7,9 g/100 kg PV). Les variabilités d'ingestion sont quant à elles beaucoup plus faibles que pour les valeurs du traitement HUM, l'écart type est de 8,6 pour l'offre 100 SEC, de 7,6 pour l'offre 150 SEC et de 4,7 pour l'offre 300 SEC.

4. Discussion

4.1. Humidité du sol

Dans un premier temps nous allons revenir sur les valeurs des sondes qui sont à relativiser. Ces valeurs constituent un très bon indicateur de suivi de l'humidité du sol toutefois les valeurs mesurées sont faites à 3 cm de profondeur ce qui a entraîné dans certains cas de nettes différences entre l'état d'humidité mesurée par les sondes et celui observé en surface. Nous avons donc choisi de nous fier à l'humidité en surface mesurée via les scores car sa valeur est la plus proche de la réalité. Dans un second temps nous allons nous intéresser aux caractéristiques parcellaires. En effet sur la parcelle P17 nous avons eu beaucoup de difficultés à appliquer le traitement HUM. Deux raisons sont en cause, d'une part la forte pente dans le sens de la largeur de la parcelle et dans un second temps la plus forte proportion de sable fin (107 g/kg) et de sable grossier (239 g/kg) conférant à la parcelle P17 un fort pouvoir drainant. Un autre paramètre à prendre en compte est la pluviométrie. L'expérimentation a été réalisée en période de Carême (sèche) afin de pouvoir réaliser les traitements secs de façon optimale. Toutefois cette année la période de Carême a été particulièrement pluvieuse (642,5 mm sur la durée de l'expérience) ce qui a rendu difficile l'application des traitements SEC. Malgré ces contraintes et au regard des potentiels matriciels mesurés par les sondes et des scores humidité nous avons réussi à appliquer deux niveaux d'humidité bien distincts représentatifs des conditions climatiques locales. L'humidité a également eu un effet significatif sur la hauteur d'herbe à l'entrée qui est significativement plus haute pour le traitement HUM (11,62 cm) que pour le traitement SEC (10,0 cm) ($P > 0,05$). De fait en condition HUM où la pluviométrie fut élevée, la pousse de l'herbe a été favorisée et ainsi induit une hauteur d'herbe à l'entrée du pâturage significativement plus haute.

4.2. Paramètres de pâturage

Au regard des photos des ronds prises à la sortie du pâturage, nous pouvons observer un effet significatif des différentes offres fourragère proposées. Ainsi l'offre la plus restreinte (100 g MS/kg PM) a induit une plus forte défoliation et donc une proportion de sol et de tiges visibles plus importantes. En effet, l'offre 100 ne couvrant pas la totalité des besoins journaliers de l'animal cela a induit un pâturage plus près du sol et donc une ingestion plus forte de tiges que pour les offres 150 et 300. *A contrario* l'offre 300 étant considérée comme « à volonté » une forte proportion de feuilles visibles est observée notamment dû à un pourcentage de refus plus fort. Les différentes offres ont donc bien eu un effet discriminant sur le mode de pâturage. Ainsi les animaux de l'offre 100 n'ont pas eu la possibilité de sélectionner leur nourriture et ont pâturé l'ensemble de leur surface de pâturage. Pour l'offre 150 censée couvrir les besoins de l'animal des refus ont été observés ce qui implique une sélection alimentaire. Des refus en proportions plus élevées pour l'offre 300 ont également été observés. Du fait que les animaux des offres 150 et 300 aient sélectionné leur nourriture et notamment les parties les plus appétantes que sont les feuilles, une digestibilité plus élevée de la MO a été observée. D'après les résultats les animaux ayant reçu l'offre 100 ont exercé une pression de pâturage plus forte que les animaux ayant reçu l'offre 150 ou 300. Les photos ne permettent en aucun cas d'évaluer l'ingestion de fourrage par les animaux, mais constituent via l'analyse par l'index VARI un outil de suivi du pâturage efficace. Comme pressenti la DMO pour l'offre 100 (67%) est significativement plus faible que pour l'offre 150 (73%) et 300 (73%). Cela s'explique par une plus forte ingestion de tiges et donc de tissus pariétaux moins digestibles pour les animaux de l'offre 100 dû à un choix plus restreint. Quel que soit l'offre la valeur de digestibilité est élevée. Cela s'explique par la qualité du fourrage caractérisé par une teneur en cellulose brute de 28,2g/100 g MS, en lignine de 3,7 g/100 g MS et un pourcentage de MS de 14,9% et par une hauteur d'herbe plus élevée impliquant une proportion de limbes plus élevée. Cette bonne qualité de fourrage est due à l'application d'un engrais juste après la fauche, à de bonnes conditions d'humidité et à l'âge du fourrage (14 jours de repousse).

En termes de matière sèche ingérée, l'offre 100 a une valeur inférieure à celle des offres 150 et 300, la différence entre les offres 150 et 300 étant également significative. Il en est de même pour la matière organique ingérée et la production fécale. L'offre 100 correspondant à un niveau restreint il est donc logique que les ingestions de MS et de MO soient inférieures tout comme la production fécale. L'autre raison vient également d'une digestibilité de la MO plus faible pour les animaux de l'offre 100. Pour l'offre 100, les taurillons ont ingéré 50,2% de ce qui leur était proposé contre 44,0% pour ceux de l'offre 150 et 24,5% pour ceux de l'offre 300. Le faible pourcentage de MS ingérée par rapport à la MS proposée pour l'offre 300 confirme bien que cette offre couvrait plus que les besoins des bovins. Pour l'offre 100, les 49,7 % de MS restants correspondent aux parties végétales les plus âgées et aux débris végétaux moins appétants pour les animaux. Un autre paramètre venant confirmer la pression de pâturage plus élevée dans le cas de l'offre 100 est la hauteur d'herbe après pâturage. Elle est significativement plus faible pour l'offre 100. Etant en niveau restreint les taurillons ont pâturé au plus bas possible du sol. Cela implique une probabilité d'ingérer une quantité de sol plus élevée supérieure à celle des offres 150 et 300. La plus faible hauteur d'herbe post-pâturage peut également expliquer une digestibilité de la MO plus faible. De fait les animaux de l'offre 100 ont ingéré une proportion élevée de tiges proches du sol, riches en fibres et peu digestibles.

4.3. Ingestion de sol

La première observation pouvant être faite est la faible proportion de sol ingéré par rapport aux précédents travaux sur le sujet. Dans notre cas l'ingestion de sol est de 1,34% de la matière sèche ingérée pour l'offre BAS (100 g MS/kg PM), de 1,1% pour l'offre HAUT (150 g MS/kg PM) et de 0,7% pour l'offre AD LIB (300 g MS/kg PM). Dans l'essai mené par Jurjanz et al., 2012 la quantité de sol ingéré par des vaches laitières au pâturage était de 250 g MS/j dans de bonnes conditions de pâturage et de 1 kg MS/j dans de mauvaises (offre fourragère basse et niveau de complémentation bas) conditions de pâturage. Lors de cet essai les paramètres d'humidité du sol n'ont pas été étudiés. Dans un autre essai mené par Jurjanz et al., 2017 les proportions de sol ingéré étaient de 4,4% pour le traitement non restreint (128,5 g MS/kg PM) et de 9,3% pour le traitement restreint (70,6 g MS/kg PM) ce qui est bien supérieur aux valeurs observées dans notre expérience. Cet essai publié en 2017 a été réalisé sur le site expérimental de Duclos sur les mêmes parcelles et le même type d'animaux que pour notre expérimentation. La encore le paramètre humidité du sol n'a pas été pris en compte. Il constitue donc notre principal outil de comparaison. Toutefois les offres appliquées ainsi que les conditions d'humidité et de hauteur d'herbe à l'entrée étaient différentes des nôtres. Il ne nous est donc pas possible de comparer tous les résultats à ceux de Jurjanz et al., 2017. La différence observée sur les proportions de sol entre les deux essais est la même lorsque l'on regarde les quantités de sol ingéré. Pour l'étude de Jurjanz et al., 2017, les quantités de sol ingéré étaient de 98 g MS pour 100 kg PV pour le niveau restreint et de 78 g MS pour 100 kg de PV pour le niveau non restreint. Dans notre cas la quantité de sol ingéré par jour et pour 100 kg PV est de 21,0 g pour l'offre BAS, de 20,0 g pour l'offre HAUT et de 17,1 g pour l'offre AD LIB. En termes de quantité de MS ingérée par jour et pour 100 kg de PV les valeurs d'ingestion sont plus fortes dans notre cas. Cela s'explique par des niveaux d'offre appliquée plus élevés. Logiquement nous aurions dû trouver des valeurs d'ingestion de sol plus élevées que dans l'étude publiée en 2017. En effet, ayant réalisé notre essai en conditions humides la salissure de l'herbe via le piétinement fut plus élevée que pour l'essai de Jurjanz et al., 2017. Plusieurs hypothèses peuvent expliquer cette observation. Étant donné que les paramètres de pâturage et d'humidité étaient différents dans les deux essais, il n'est donc possible d'émettre que des hypothèses sans pouvoir les valider avec précision.

La première hypothèse vient de la différence de hauteur d'herbe à l'entrée qui était entre 7,7 et 9,0 cm dans l'essai de Jurjanz et al., 2017 et entre 10,6 et 11,1 cm en 2017. Nous partons du principe que le sol retrouvé sur le fourrage provient en partie de l'effet splash causé par la pluie (Green et al., 1996; Smith et al., 2009) et que le sol se retrouve principalement sur les parties basses de la plante. Dans ces conditions une hauteur d'herbe plus haute induit un pâturage préférentiel des parties supérieures et donc un risque d'ingestion de sol plus faible. Une autre hypothèse est l'emploi de 12 animaux et de 12 périodes au lieu de 6 animaux et deux périodes lors de la manipulation de Jurjanz et al., 2017. De cette manière nous avons minimisé l'effet animal contrairement à l'essai de Jurjanz et al., 2017. D'autre part les offres fourragères allouées dans notre expérience étaient différentes de celles de Jurjanz et al., 2017. Une autre observation est la faible proportion de sol ingéré en 2017 par rapport à la quantité de sol retrouvée sur l'herbe prélevée après pâturage. Elle est de 76,1 g/kg MS pour l'offre 100, de 39,1 g/kg MS pour l'offre 150 et de 33,0 g/kg MS pour l'offre 300. Mis en rapport avec la quantité de matière sèche ingérée cela donne 121,0 g pour l'offre 100, 81,8 g pour l'offre 150 et 76,9 g pour l'offre 300.

Ce qui ressort de ces résultats est que l'ingestion de sol par les taurillons est faible comparé à la quantité de sol retrouvée sur le fourrage pâturé (coefficient de corrélation de Pearson de 0,14). Cela signifie que le sol retrouvé sur le fourrage n'explique que faiblement la quantité de sol ingéré. Cela nous amène à l'hypothèse suivante : le comportement de pâturage des animaux influe sur l'ingestion de sol. Prenons l'exemple de l'offre 100 où la proportion de sol retrouvé sur l'herbe est la plus forte. Les animaux étant en niveau restreint nous pouvons supposer qu'ils pâturent leur rond rapidement, période pendant laquelle la salissure de l'herbe est minimale. Le niveau de salissure de l'herbe étant maximal après pâturage avec un piétinement accentué.

Étant récoltée en fin de pâturage pour évaluer la salissure l'herbe prélevée n'est peut-être pas représentative de l'herbe pâturée ce qui expliquerait une faible corrélation entre la quantité de sol retrouvée sur l'herbe et celle ingérée par l'animal. Un autre paramètre à prendre en compte dans l'ingestion de sol et l'ingestion volontaire de sol par les taurillons. En effet, à plusieurs reprises nous avons observé les taurillons ingérer volontairement du sol. N'ayant pas apporté de compléments en minéraux aux taurillons pendant la période expérimentale certains d'entre-deux se sont peut-être retrouvés en carence et ont ainsi ingéré du sol afin de pallier ce manque. Il nous est impossible de mesurer précisément la proportion que représente cette ingestion volontaire. Un autre paramètre impossible à mesurer est l'ingestion de sol via le léchage de parties souillées de boue comme leurs membres par exemple. Il est également important de revenir sur l'effet splash ou le transport de particules de sol par le vent. Nos parcelles étant composées majoritairement d'argile la cohésion des particules est donc très forte. Ces particules sont donc moins susceptibles de se retrouver sur le matériel végétal par l'effet splash ou par le vent. Nous pouvons donc supposer que cet effet serait accentué dans le cas de sols plus limoneux ou sableux ayant des propriétés de cohésion plus faibles. Il faut souligner que l'effet splash est maximisé lorsque que le couvert végétal est très faible, il est donc moindre au pâturage.

Pour conclure, cette expérience nous a permis de mettre en évidence deux facteurs pouvant influencer l'ingestion de sol par les bovins Créoles, le niveau d'humidité du sol et le niveau d'offre fourragère. Ainsi en condition de restriction au niveau du fourrage nous pouvons conseiller une complémentation alimentaire ce qui est déjà pratiqué par de nombreux éleveurs. Lorsque les conditions d'humidité du sol sont maximales, il est important d'augmenter la surface de pâturage afin de limiter l'effet piétinement. Un temps de repousse de l'herbe suffisamment long doit aussi être exercé afin d'éviter un pâturage trop près du sol, il est donc important pour les éleveurs de maîtriser le temps de retour des animaux sur une zone de pâturage. Ce dernier paramètre est cependant difficile à maîtriser pour les éleveurs possédant une surface de pâture limitée. Des travaux complémentaires sont nécessaires afin de pouvoir proposer des recommandations pratiques pour les éleveurs mais (finir par qqch de positif qui met en évidence les apports du travail).

Dans la prochaine partie de ce mémoire, les résultats de l'expérimentation seront replacés dans un contexte plus général de la pollution par le chlordécone. L'objectif est de souligner en quoi nos résultats peuvent constituer un outil d'aide à la décision pour les éleveurs et répondent à leurs attentes.

Partie III. Discussion générale

**Resituer l'expérience dans le contexte général d'une
contamination à long terme**

Partie III. Discussion générale

D'après les travaux expérimentaux des dernières années l'hypothèse est faite que la principale source de contamination des animaux d'élevage est l'ingestion involontaire de sol. En partant de cette hypothèse, nous avons essayé de mettre en évidence les paramètres de pâturages pouvant limiter au maximum cette ingestion involontaire de sol. De par leur physiologie et leur mode de pâturage, les ruminants font partie des animaux dont le risque d'ingestion de sol est le plus faible comparativement aux monogastriques tels que les porcins et les volailles. En effet, il est très rare de voir des bovins ingérer volontairement du sol. Cependant dans le cas d'un sol très fortement contaminé même une très faible ingestion de sol pourrait entraîner une contamination de l'animal supérieur à la LMR. La connaissance par l'éleveur du taux de contamination est donc un élément essentiel permettant via nos résultats de constituer un outil d'aide à la décision. Nos résultats étant différents de ceux de 2015 (Jurjanz et al., 2015) il est important de continuer les recherches dans ce sens afin de valider nos hypothèses.

1. Résultats des enquêtes de terrain

L'une des principales conclusions tirées de ces enquêtes est l'incompréhension des éleveurs qui ne comprennent pas pourquoi leurs animaux sont saisis notamment à cause de leur méconnaissance du niveau de contamination de leurs parcelles. Plusieurs éleveurs nous ont avoué avoir reçu un jour une visite de la DAAF leur annonçant qu'il faisait des prélèvements pour analyse de chlordécone. Quelques semaines plus tard, ils ont reçu un courrier leur annonçant la saisie de plusieurs de leurs animaux pour dépassement des LMR sans qu'aucune explication ne leur soit faite. Pour la perte de leurs animaux, aucune indemnité ne leur a été versée. Les éleveurs ayant vécu cette situation ne comprennent donc pas la saisie de leurs animaux, car à leur sens ils ne sont pas à l'origine de la contamination et pourtant ont leur saisie leurs animaux sans aucune compensation. Les éleveurs interrogés connaissent l'origine de la contamination venant des anciennes surfaces en bananeraies, mais ne comprennent pas pourquoi ils ne bénéficient pas d'une aide contrairement au secteur bananier. Ce mode d'action de la DAAF ne pouvant pas être vérifié il est donc à relativiser, peut-être s'agissait-il d'un acte isolé, cependant plusieurs éleveurs ont eu le même discours.

La majorité des éleveurs (70%) ne possèdent que quelques bovins qui constituent pour eux un outil d'épargne, la saisie même d'un seul de leurs animaux a donc un impact économique important obligeant les éleveurs à s'adapter. Dans cette situation trois stratégies ont été identifiées chez les éleveurs, une première stratégie est l'abandon de l'activité d'élevage, ensuite il y a les éleveurs qui ont décidé de passer par le marché informel échappant ainsi aux contrôles. Pour finir il y a les éleveurs qui disposent des ressources nécessaires soient pour décontaminer leurs animaux sur surfaces non contaminées soit en développant un atelier hors sol. Sur les 24 éleveurs enquêtés (20 éleveurs du projet chlordel plus 4 éleveurs enquêtés par Bérangère Merlot) 5 ont abandonné et seulement trois ont déclaré disposer des surfaces nécessaires afin d'intégrer à leur système d'élevage un temps de décontamination de 6 mois à un an. Au moins la moitié des éleveurs visités n'ont qu'une idée très vague du niveau de contamination de leurs parcelles et ne possèdent pas les clés pour comprendre les feuilles de résultats d'analyse. D'autre part plusieurs éleveurs ont indiqué n'avoir reçu aucune information concernant les risques de contamination de leurs animaux par le chlordécone. Ce constat est venu aussi bien des petits éleveurs que des éleveurs mieux organisés intégrant une SICA par exemple. Ce manque d'informations constitue pour l'avenir un enjeu de taille devant être pris en compte.

De manière générale ils préfèrent les échanges oraux, avec la possibilité de questionner pour obtenir des éclaircissements, mais aussi d'échanger autour de leur expérience et de leur point de vue. Ce point est notamment l'un des objectifs du projet INSSICCA. N'étant pas reconnus comme éleveurs par les institutions agricoles et qualifiés de détenteurs bovins les petits éleveurs ne bénéficient d'aucun soutien et d'aucune information. Il nous semble important d'accompagner et de soutenir les éleveurs pour assurer une adaptation pérenne des systèmes d'élevage dans les zones polluées, soit directement par des primes spécifiques pour soutenir le cours des veaux sevrés (âgés de moins d'un an), soit indirectement via le soutien à la mise en place d'une organisation spécifique de la filière incluant tous les éleveurs et détenteurs d'animaux concernés par la pollution de leur zone d'élevage. Il est à craindre que l'absence de perspective économique actuelle de l'activité de naissage ne pousse certains détenteurs d'animaux ou éleveurs à écouler leur production par les circuits informels, ce qui est le pire scénario en matière d'exposition de la population au chlordécone. Le contexte général de déprise des activités d'élevage dû à une forte compétition avec les viandes importées risque de pousser les éleveurs vers ce secteur informel. Une meilleure organisation du secteur intégrant les petits éleveurs pourrait être une solution. Sous forme de groupement par exemple les éleveurs seraient en mesure de posséder des surfaces nécessaires afin d'intégrer une période de décontamination à leur système d'élevage. Cela pourrait aussi faciliter le circuit de vente et ainsi limiter la sensibilité des éleveurs aux pressions économiques. Etant regroupé les éleveurs se verraient acheter les bovins par le groupement à prix fixe qui se chargerait ensuite d'emmener les animaux à l'abattoir. Ainsi les éleveurs seraient assurés d'un revenu régulier et fixe.

Afin d'aider les éleveurs et de les conseiller, il est important qu'il soit en mesure de déterminer le risque de contamination auquel ils sont exposés sur leurs parcelles. Cela passe par une analyse de leurs sols et une meilleure connaissance des mécanismes de transfert du chlordécone vers l'animal comme l'ingestion involontaire de sol. En connaissant le risque de contamination, ils seront ainsi en mesure de s'adapter. Pour les éleveurs devant exercer une période de décontamination ou évoluer vers un système hors sol il est important qu'ils soient aidés et accompagnés par le biais d'aides. En accompagnant les éleveurs, on limite ainsi leur passage par les marchés informels et par conséquent le risque d'exposition des consommateurs. Il est également essentiel que les professionnels agricoles reconnaissent les petits éleveurs afin de mieux les aider et de limiter le risque de contamination. En ce qui concerne l'élevage 99% des contrôles sont négatifs (pas de dépassement de la LMR). Aux vues de ce chiffre, la DAAF a tendance à estimer le problème presque résolu, mais n'est pas pris en compte dans ce chiffre le nombre d'animaux passant par le secteur informel et échappant donc aux contrôles. Ainsi en analysant l'eau apportée aux bovins, le fourrage pâturé et le sol nous serons en mesure d'évaluer le risque de contamination encouru par un éleveur.

2. Évaluation du risque de contamination

Un premier élément de contexte est que 25% du cheptel se trouve en Basse-Terre dont seulement 10% se trouve en zone contaminée ce qui limite considérablement le risque d'exposition, mais qui ne doit pas être négligé pour autant. Plusieurs éleveurs nous ont toutefois fait part d'une contamination des eaux agricoles en Grande-Terre (elles proviennent de la zone polluée de Basse-Terre et ne sont pas traitées). Cela mérite d'être vérifié afin d'évaluer cette potentielle contamination, car si elle était avérée elle pourrait remettre en cause toutes nos certitudes étant donné que les animaux provenant de Grande-Terre ne sont pas nécessairement contrôlés. La Grande-Terre étant considérée comme indemne de toute contamination la DAAF ne juge pas utile de contrôler tous les bovins.

Afin d'évaluer le risque encouru par un éleveur en zone contaminée, nous allons nous baser sur nos résultats et démontrer en quoi ils constituent un outil d'aide à la décision. Prenons l'exemple d'un éleveur se situant en zone polluée. Étant visité par les professionnels agricoles afin de bénéficier d'un accompagnement pour évaluer le risque de contamination, des analyses de sol, de fourrage et d'eau sont réalisées. Quelques semaines plus tard, son accompagnateur vient le voir avec les résultats d'analyse et lui explique comment lire cette grille d'analyse. Ensemble ils découvrent que l'eau apportée par l'éleveur n'est pas contaminée puisqu'il abreuve ses animaux via de l'eau potable. Son fourrage prélevé sur sa parcelle est contaminé à 20 µg CLD/kg et son sol est contaminé à hauteur de 1000 µg CLD/kg de sol. Maintenant, étudions le risque d'exposition de son taurillon Créole de 150 kg. Grâce à la littérature et aux informations de l'éleveur, nous estimons que son taurillon ingère en moyenne 3,2 kg MS/j. Grâce aux résultats de notre expérience et à la matière sèche ingérée nous estimons à 1,53% de la matière sèche ingérée le risque d'ingestion de sol en conditions humides et à 0,77 % en conditions sèches.

Ainsi en condition humide son taurillon de 150 kg ingérant 3,2 kg MS/j ingérerait :

- $3,2 * 20 = 64$ µg de CLD par jours via le fourrage
- $0,0153 * 3,2 = 0,049$ kg ; $0,049 \text{ kg} * 1000 = 49$ µg de CLD par jours via l'ingestion involontaire de sol

Au total le risque maximal de contamination est de 113 µg/j ce qui expose son taurillon à un dépassement des LMR. Afin de pouvoir vendre son animal pour la boucherie, il lui est donc conseillé de le décontaminer sur une parcelle non polluée durant une période de 6 mois à un an. Son fourrage étant fortement contaminé il serait intéressant à l'avenir d'apporter une source de fourrage ou de complément alimentaire extérieure et non contaminée.

Ainsi en condition sèche son taurillon de 150 kg ingérant 3,2 kg MS/j ingérerait :

- $3,2 * 20 = 64$ µg de CLD par jours via le fourrage
- $0,0077 * 3,2 = 0,025$ kg ; $0,025 \text{ kg} * 1000 = 24,64$ µg de CLD par jours via l'ingestion involontaire de sol

Au total le risque de contamination est de 88,64 µg/j ce qui expose également son taurillon à un dépassement des LMR. Pour la contamination des sols nous avons pris la valeur généralement retrouvée dans la majorité des sols. Dans certaines zone la pollution par le chlordécone peut atteindre 50 000 µg de CLD/kg de sol. Dans ces zones très contaminées, nous pouvons imaginer un groupement des éleveurs afin de construire un atelier hors sol commun par exemple leur permettant de s'affranchir de ce risque de contamination. Leur initiative devra être accompagnée et soutenue financièrement par le gouvernement afin de montrer la voie et de montrer aux éleveurs qu'ils ne sont pas seuls face à leurs problèmes. Le problème de l'approvisionnement en aliment se pose alors. Dans cet exemple nous pouvons voir que même dans des proportions très faibles l'ingestion involontaire de sol représente une source importante de contamination. Cela illustre parfaitement l'importance de nos résultats et la nécessité de poursuivre les travaux de recherche afin d'évaluer plus précisément les proportions de sol ingéré selon plusieurs paramètres de pâturage. Notons également que nos résultats ont montré une très grande variabilité.

Dans notre exemple, en condition humide la proportion de sol ingéré est en moyenne de 1,53 %, mais certains animaux ont ingéré jusqu'à 5% de leur ration en sol. Ce résultat a été observé sur un pas de temps court il serait donc intéressant de l'étudier sur un pas de temps plus long. Ainsi un éleveur peut très bien se retrouver avec des animaux 4 fois plus contaminés que d'autres étant donné la grande variabilité des proportions de sol ingéré. Il est donc nécessaire dans les futurs travaux d'étudier les éléments pouvant causer une telle variabilité au sein des animaux. Pour conclure, nos résultats peuvent contribuer à l'élaboration et à la mise à disposition d'un outil d'aide à la décision pour les éleveurs. En connaissant le risque de contamination et en étant accompagnés, les éleveurs seraient alors en mesure d'élaborer des stratégies d'élevage afin de limiter au maximum le risque de contamination de leurs animaux.

3. Points forts et limites de l'expérience

Cette expérience a permis de mettre en évidence trois facteurs majeurs influençant la quantité de sol ingéré, l'offre fourragère, le niveau d'humidité du sol et la hauteur d'herbe au pâturage. L'effet humidité est le plus fort tandis que l'effet hauteur d'herbe nécessite d'autres travaux afin de valider cette hypothèse. L'offre a également un effet surtout lorsque l'animal se retrouve en restriction alimentaire. Dans ce cas la pression de pâturage est plus forte ce qui implique à niveau de salissure par le piétinement plus élevé et un pâturage plus près du sol. Ces deux facteurs augmentent ainsi le risque de contamination par les animaux d'élevage. L'une des limites est le fait que nous trouvons des quantités de sol ingéré nettement inférieures à celle de l'essai de 2015. Notre expérience ne permet pas de déterminer les causes exactes de cette différence, seules des hypothèses peuvent être émises. Il est donc nécessaire de poursuivre les travaux de recherches afin d'identifier le facteur principal influençant l'ingestion de sol.

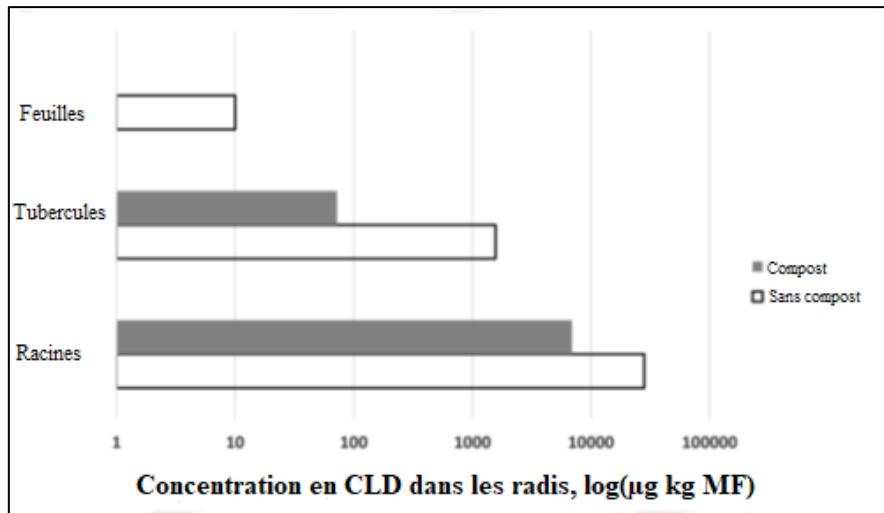
Les niveaux de contaminations et de consommations en eau et en fourrage étant connus la seule incertitude restante est la proportion de sol ingéré involontairement. Nos résultats fournissent après l'essai de 2015 les seules références d'ingestion de sol concernant les bovins Créoles. En effet, l'un des principaux points forts de cette expérience est d'avoir reproduit au mieux le mode d'élevage pratiqué par les éleveurs guadeloupéens. Nos résultats pourraient donc permettre l'élaboration d'un outil d'aide à la décision permettant aux éleveurs d'évaluer le risque de contamination de leurs animaux d'élevage et ainsi mettre en place des stratégies d'élevage limitant ce risque. Une autre des limites de cet essai est le fait que selon nos résultats l'ingestion involontaire de sol n'est pas nécessairement la principale voie de contamination des bovins. Nous ne pouvons pas valider avec certitude cette hypothèse, néanmoins, des travaux complémentaires doivent être menés afin de valider ou invalider cette hypothèse pouvant avoir de nettes répercussions dans le discours fait aux éleveurs. Une autre limite soulevée par notre expérience est la précision des analyses, encore trop peu de laboratoires et notamment en Guadeloupe sont capable de quantifier avec précision les niveaux de concentration en CLD des différentes matrices. Il est important que les éleveurs soient en mesure de fournir des informations sur les niveaux de contamination de leurs parcelles. Dans cet objectif les laboratoires locaux doivent être en mesure de quantifier avec précision la concentration en CLD. Au niveau de nos résultats, il serait intéressant d'étudier plus précisément le comportement de pâturage des bovins. En effet, la corrélation entre la quantité de sol sur le fourrage pâturé après sortie des animaux et la quantité de sol ingéré est très faible. Le sol retrouvé sur l'herbe est nettement supérieur à celui ingéré par l'animal. Ainsi nous pouvons supposer que le niveau maximal de salissure de l'herbe intervient une fois l'activité de pâturage terminée. Il est donc intéressant d'étudier cette hypothèse plus en profondeur. Dans le cas d'une restriction alimentaire les bovins doivent consommer leur rond de pâturage très rapidement période durant laquelle le niveau de salissure de l'herbe est minimal.

4. Quelles solutions pour les éleveurs

Une des premières solutions pour les éleveurs se trouvant en zone contaminée et l'intégration à leur système d'une période de décontamination. Pour les bovins celle-ci varie de 6 mois à un an suivant l'individu. Cette période est compatible avec les systèmes d'élevage identifiés en Guadeloupe et notamment avec celui de naisseur engraisseur. Le seul obstacle pour les éleveurs est la possession de parcelles non polluées ou des surfaces nécessaires. Dans ce cas nous pouvons imaginer une organisation d'éleveurs en zone non polluée avec ceux en zone polluée afin de permettre une période de décontamination. Chaque éleveur élèvera ses bovins sur ses parcelles jusqu'à une période de un an avant l'objectif de vente. A un an de la vente, l'ensemble des bovins serait déplacé vers des parcelles non contaminées afin de se décontaminer et ainsi passer le contrôle de vente. Si les surfaces ne sont pas suffisantes, nous pouvons dans la même logique penser à la construction d'un atelier hors sol soit en copropriété afin de limiter le coup soit individuellement. Nécessitant de beaucoup plus d'investissement cette stratégie devra être accompagnée d'une aide financière du gouvernement. La seule limite à ces stratégies réside dans le fait que pour une grande partie d'éleveurs l'élevage constitue un outil d'épargne ce qui rend imprévisible le moment de la vente.

Une autre solution pourrait être la structuration du secteur permettant aux éleveurs en zone polluée de pratiquer un système exclusivement naisseur. Les veaux vendus seraient alors engraisés chez des éleveurs dont le système est basé sur l'engraissement et se trouvant en zone non contaminée ou disposant d'un atelier hors sol. L'objectif de cette stratégie serait donc de limiter le temps de présence des bovins sur parcelle contaminée. Toutefois cette stratégie nécessite une grande organisation de la filière et des éleveurs. L'élevage étant pour beaucoup d'éleveurs un outil d'épargne il ne répond pas nécessairement à une logique économique et à une organisation bien précise. Une alimentation basée uniquement sur l'apport d'aliments extérieurs et non contaminés pourrait également être une stratégie imaginable. L'objectif serait donc de limiter au maximum le surpâturage afin de limiter l'ingestion de fourrage et de sol contaminé. Une transition vers du petit élevage peut également être envisagée. Un obstacle à cette stratégie est le débouché de ces viandes sur le marché limité par la part importante de viandes d'importation. Les éleveurs se retrouvent de plus en plus impactés par le chlordécone. Les consommateurs étant mieux informés exigent de savoir d'où viennent les produits qu'ils consomment.

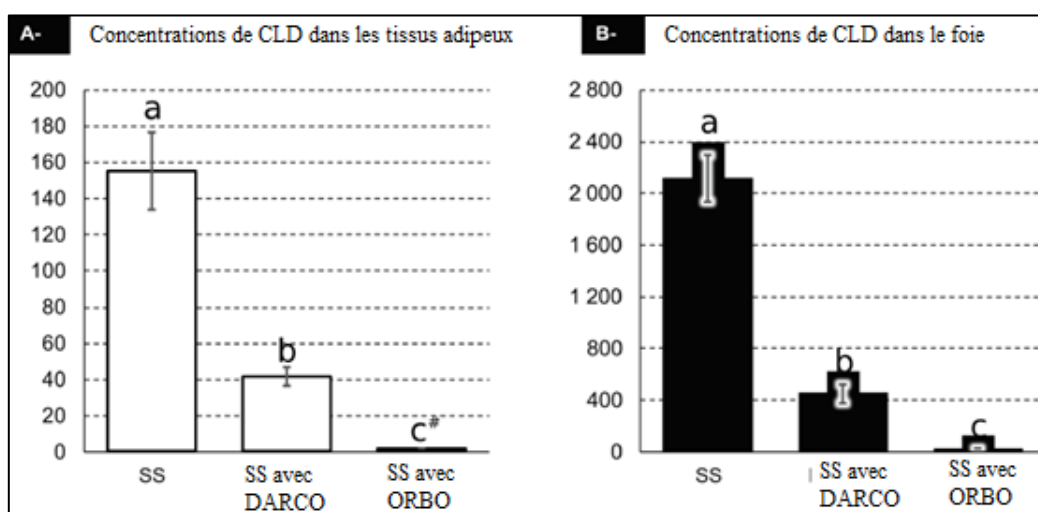
Dans cette logique nous pouvons peut-être imaginer la conception d'un label permettant de certifier que les produits vendus sont en dessous des LMR. Néanmoins ce label devrait concerner tous les éleveurs y compris les détenteurs et en aucun cas favoriser le développement d'une certaine catégorie d'éleveur. Ce label devrait également ne pas être trop lourd administrativement au risque de braquer les éleveurs n'ayant pas forcément la possibilité et le temps nécessaire. Le sol étant une source de contamination importante comme le montrent nos résultats des solutions de piégeage du CLD peuvent également à l'avenir être proposées aux éleveurs. Les travaux de (Woignier et al., 2014) ont permis de démontrer que l'ajout de compost limite le transfert du chlordécone vers les végétaux (Figure 22). Ainsi l'ajout de compost limiterait la contamination via le fourrage. Cette hypothèse devrait être confirmée, car les travaux de (Woignier et al., 2014) portaient sur le radis. Nous pouvons également penser que le compost permettrait de limiter le transfert de chlordécone vers l'animal. Ceci n'est qu'une supposition qui n'a jamais fait l'objet de recherches. Un autre facteur à prendre en compte est que leur expérience a été menée sur sol à allophane, le processus de séquestration par l'ajout de compost pourrait donc être différent sur d'autres types de sols.



MF : Matière fraîche

Figure 22 : Effet de l'ajout de compost sur la concentration en CLD des radis

Sur cette figure nous pouvons voir que l'ajout de compost contribue à réduire la concentration de CLD dans les racines et le tubercule. L'effet le plus significatif est sur la concentration de CLD dans le tubercule où la concentration passe de 1000 µg kg MF à 100 µg kg MF après ajout de compost. La séquestration du CLD par le compost serait donc fortement dépendante des pratiques et de l'environnement dans lequel se trouve l'éleveur. Des recherches complémentaires doivent être faites afin d'imaginer conseiller cette pratique aux éleveurs. Le compost est une technique nécessitant beaucoup de temps et de main d'œuvre ce qui pourrait la rendre difficilement acceptable par les éleveurs. La conception d'une plateforme de production à grande échelle de compost pourrait être imaginée, d'une part cela permettrait, si son efficacité est démontrée, de limiter le transfert du chlordécone et d'autre part de fournir à tous les éleveurs une source de fertilisation plus respectueuse de l'environnement. Les travaux de thèse de (P. Jacky, 2017) traite notamment de l'acceptabilité par les éleveurs du compost et de la faisabilité d'une plateforme de compostage à grande échelle. Une autre alternative est l'ajout de charbon actif dans le sol. Les travaux de (Yehya et al., 2017) ont mis en lumière son effet dans la séquestration du CLD (Figure 23).



a, b, c. Les valeurs sur les graphes avec un exposant différent sont significativement différentes à $P < 0.05$.

Figure 23 : Concentrations en CLD dans différentes matrices biologiques

Dans cette expérience réalisée sur des agneaux trois différents sols ont été élaborés un sol témoin sans charbon actif, un sol supplémenté à 2% de charbon actif issu de noix de coco (ORBO) et un dernier sol supplémenté avec 2% de charbon actif issu de lignite (DARCO). Le foie et les tissus adipeux constituent les matrices les plus concentrées en CLD dans le cas d'une contamination. Le sol DARCO a ainsi entraîné une réduction de la concentration en CLD de 53,4% dans les tissus adipeux et de 67,2% dans le foie par rapport au sol témoin. Le sol ORBO a quant à lui diminué de 98,2% la concentration en CLD dans les tissus adipeux et de 98,4% dans le foie. Bien que très encourageant ces résultats doivent être complétés. L'ajout de charbon actif doit être testé dans des conditions réelles au champ. Ces deux alternatives que nous venons de présenter offrent des perspectives d'avenir encourageantes. Cependant celles-ci doivent faire l'objet de travaux complémentaires afin de les tester dans des conditions réelles au champ et selon les techniques de pâturage pratiquées par les éleveurs. L'effet du charbon sur l'environnement devra aussi être vérifié.

De nombreuses stratégies peuvent être mises en place cependant pour certaines elles demandent une profonde restructuration du secteur. Un accompagnement financier et technique des éleveurs par le gouvernement et les professionnels du milieu agricole sont nécessaires afin de limiter les risques de contaminations. La conception d'atelier participatif entre les éleveurs et les institutions pourraient être une idée. Nous pouvons prendre l'exemple de la collaboration participative entre le programme Jafa, l'INRA et les agriculteurs. Le but étant pour les chercheurs de tester plusieurs techniques limitant le transfert de CLD vers les animaux et les végétaux et pour les agriculteurs d'avoir une meilleure compréhension du problème et des techniques alternatives. Le manque d'information des éleveurs est une limite majeure, d'une part car les éleveurs sont dans l'incompréhension de ce qui leur arrive et d'autre part la perte de connaissance sur les niveaux de contamination des parcelles. À l'avenir chaque éleveur devrait être en mesure de fournir un certificat d'analyse de ces sols. Dans un contexte de restructuration agricole la pollution par le chlordécone et la saisi des animaux qui en découle vient accabler les éleveurs au point pour certain à renoncer à leur activité d'élevage. Une reconnaissance des détenteurs bovins comme éleveurs est donc essentielle tout comme un accompagnement et un meilleur accès à l'information. La prise de conscience doit se faire au niveau des institutions et du gouvernement qui doivent sortir du déni et admettre que le problème du chlordécone est encore loin d'être résolu. De nombreuses avancées ont été faites, mais la recherche doit continuer afin de permettre aux éleveurs de se développer et de limiter l'exposition des consommateurs.

Conclusion générale et perspective

Aux Antilles françaises la crise du chlordécone a affecté plusieurs secteurs d'activité et notamment les éleveurs. Cette crise en plus de la déprise des activités agricoles, de la forte concurrence des produits importés et de la restructuration du secteur vient accabler les détenteurs bovins. Situés en zone contaminée ils voient leurs animaux saisis sans qu'aucune explication ne leur soit faite. L'impact économique pour les éleveurs est considérable et les pousse pour certains à passer par le marché informel. Cette situation est très préoccupante, car elle expose les consommateurs à une source de contamination non négligeable. Depuis plusieurs années les instituts de recherches et les institutions publiques ont permis d'accroître notre niveau de connaissance sur le chlordécone et la manière de gérer cette crise. Ces enseignements et ces informations doivent être mis à disposition des éleveurs. L'information des éleveurs sur le chlordécone et les risques est insuffisante et est l'une des clés dans la gestion de cette crise environnementale. Il est impératif que les éleveurs soient sensibilisés et informés des risques afin qu'ils puissent adapter leurs systèmes d'élevage. Ils doivent donc être accompagnés et non délaissés par le gouvernement et les institutions publiques, car ils font partie intégrante du paysage agricole guadeloupéen. Les travaux de recherches menés jusqu'à ce jour ont déjà mis en évidence plusieurs alternatives. Ces travaux doivent être poursuivis afin d'évaluer précisément la faisabilité et l'adaptabilité de ces alternatives aux systèmes d'élevage locaux.

Les résultats obtenus lors de cet essai ont mis en évidence des proportions et des quantités de sol ingéré non négligeables (jusqu'à 21 g/jours/100 kg PV). L'ingestion involontaire de sol peut représenter selon les conditions de pâturage et d'humidité une source de contamination importante. Même ingéré en très faible quantité le sol contaminé peut entraîner une contamination des animaux à des niveaux supérieurs aux LMR. Ce résultat est alarmant, car nous pouvons supposer que cette ingestion serait accrue chez les volailles et les porcins. L'ingestion de sol représente donc une source potentielle de contamination importante devant être prise en compte dans l'élaboration de techniques d'élevage alternative. En connaissant la proportion de sol ingéré par les animaux selon les conditions de pâturage nous serons en mesure d'élaborer un outil d'aide à la décision pour les éleveurs. En connaissant les niveaux de contamination des fourrages, de l'eau et du sol ainsi que leur quantité respective ingérée, nous serons en mesure d'estimer le risque maximum de contamination des animaux. Selon le risque les éleveurs seraient accompagnés afin d'adapter leurs techniques d'élevage pour limiter au maximum le risque de contamination. La forte variabilité individuelle des quantités de sol ingéré devra être prise en compte dans cet outil. Les travaux de recherches doivent donc se poursuivre afin d'être en mesure de proposer un outil efficace aux éleveurs. De nombreux paramètres et incertitudes doivent être identifiés et levés pour mieux comprendre les transferts de CLD du sol vers les animaux. Nos résultats ont apporté des connaissances et ont permis de préciser le risque de contamination des animaux via l'ingestion involontaire de sol. Ils ont également démontré que le sol n'est peut-être pas la source principale de contamination comme nous le supposions. De futurs travaux doivent permettre de valider ou réfuter cette hypothèse qui peut avoir des répercussions importantes en termes de gestion du risque de contamination.

Notre étude a eu pour but d'étudier l'influence de l'offre fourragère et l'humidité du sol sur l'ingestion de sol. Toutefois, d'autres facteurs, difficilement quantifiables lors de notre essai, rentrent en ligne de compte. L'ingestion volontaire de sol ou encore le comportement de pâturage des animaux doit faire l'objet de recherches, car il pourrait avoir une influence importante sur cette ingestion. Comme nous pouvons le voir, notre expérience a permis de répondre à beaucoup de questions, mais en a soulevé d'autres. Afin d'apporter un conseil adapté et précis aux éleveurs, des réponses doivent encore être apportées. Les éleveurs ont aujourd'hui besoin d'un soutien adapter tant au niveau économique que sociale. La limitation du risque de contamination des consommateurs passe par l'adaptation des techniques d'élevage des éleveurs. Une meilleure image des éleveurs en zone polluée et l'établissement d'une relation de confiance avec les consommateurs doivent être mis en place. Seule une collaboration étroite entre tous les acteurs concernés pourra impulser un réel changement dans les techniques des éleveurs.

De manière générale la crise du chlordécone a entraîné une vraie prise de conscience chez les agriculteurs et les consommateurs. Plusieurs d'entre eux ont compris la nécessité d'évoluer leurs pratiques vers une agriculture plus respectueuse de l'environnement. Suite à la participation à des réunions du programme Jafa nous avons pu observer que les agriculteurs sont prêts à participer afin de trouver de nouvelles techniques innovantes limitant le transfert de CLD vers les produits animaux et végétaux. Une autre question vient se poser et dont nous ont fait part certains agriculteurs, qu'en est-il de l'interaction entre le chlordécone et les autres produits phytosanitaires. D'après les travaux de recherches, le chlordécone a un comportement très particulier et atypique. Son interaction avec d'autres produits phyto sanitaires aurait-elle un impact aggravant ou réducteur ? De manière générale la crise du chlordécone aux Antilles française a soulevé une question importante, quelle gestion à long terme des différentes POPS est envisageable ? D'une part il est presque certain que le chlordécone n'a pas été utilisé uniquement aux Antilles françaises et d'autre part d'autres POPS ont été largement utilisés à travers le monde comme le lindane. Cette crise donne donc un exemple sur la dangerosité de l'utilisation massive et non contrôlée de produits chimiques. Nous devons en tirer des enseignements et limiter au maximum notre utilisation de produits phytosanitaires afin de protéger d'une part les agriculteurs et d'autre part les consommateurs.

Bibliographie

- Abrahams, P., Blackwell, N., 2013. The importance of ingested soils in supplying fluorine and lead to sheep grazing contaminated pastures in the Peak District mining area of Derbyshire, UK. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20, 8729–8738.
- Abrahams, P., Steigmajer, J., 2003. Soil Ingestion By Sheep Grazing the Metal Enriched Floodplain Soils of Mid-Wales. *Environ. Geochem. Health* 25, 17–24.
- Agreste, 2017. Agreste [WWW Document]. Ministère Agric. Aliment. - Agreste - Stat. L'évaluation Prospect. Agric. URL <http://agreste.agriculture.gouv.fr/> (accessed 5.26.17).
- Ballesteros, R., Ortega, J.F., Hernández, D., Moreno, M.A., 2014. Applications of georeferenced high-resolution images obtained with unmanned aerial vehicles. Part II: application to maize and onion crops of a semi-arid region in Spain. *Precis. Agric.* 15, 593–614. doi :10.1007/s11119-014-9357-6
- Blanchard, P., Femenias, A., Gillet, H., Renucci, A., 2011. Rapport d'évaluation des plans d'action Chlordécone aux Antilles (Martinique, Guadeloupe) (Rapport d'évaluation No. 11075). France.
- Bonan, H., Prime, J.-L., 2001. La présence de pesticides dans les eaux de consommation humaine en Guadeloupe (No. N° 2001-070 et IGE/01/007). Ministère de l'emploi et de la solidarité - Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Paris (France).
- Boutrin, L., Confiant, R., 2007. Chronique d'un empoisonnement annoncé, L'Harmattan. ed.
- Bouveret, C., 2012. Biodisponibilité relative du chlordécone de l'andosol et du nitisol chez les animaux d'élevage monogastriques. Université de Lorraine, France (Nancy).
- Cabidoche, Y.-M., 2011. Pollution par les organochlorés aux Antilles, étude INRA-CIRAD. Etat des lieux et perspectives de recherches.
- Cabidoche, Y.-M., Achard, R., Cattán, P., Clermont-Dauphin, C., Massat, F., Sansoulet, J., 2009. Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies : A simple leaching model accounts for current residue. *Environ. Pollut.* 157, 1697–1705.
- Cabidoche, Y.-M., Jannoyer, M., Vannière, H., 2006. Pollution par les organochlorés aux Antilles (Conclusions du Groupe d'Etude et de Prospective). Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA), France.
- Cabidoche, Y.-M., Lesueur-Jannoyer, M., 2012. Contamination of Harvested Organs in Root Crops Grown on Chlordecone-Polluted Soils. *Pedosphere* 22, 562–571.
- Cabidoche, Y.-M., Lesueur-Jannoyer, M., 2011. Pollution durable des sols par la chlordécone aux Antilles : comment la gérer ? *Innov. Agron.* 16, 117–133.
- CIRAD, 2014. Du bassin versant à l'assiette : le transfert de la chlordécone.
- CIRAD, 2010. Transfert de la chlordécone du sol vers la plante.
- CIRAD, 2008. Caribfruits - 2 - Conditions pédo-climatiques de la Guadeloupe / Avant de planter / Conduite de son verger / Production Fruitière Intégrée [WWW Document]. Carib Fruits. URL http://caribfruits.cirad.fr/production_fruitiere_integree/conduite_de_son_verger/avant_de_planter/2_conditions_pedo_climatiques_de_la_guadeloupe (accessed 5.26.17).
- Clostre, F., 2014. Contamination des cucurbitacées par la chlordécone.
- Crabit, A., Cattán, P., Colin, F., Voltz, M., 2016. Soil and river contamination patterns of chlordecone in a tropical volcanic catchment in the French West Indies (Guadeloupe). *Environ. Pollut.* 212, 615–626.
- DAAF, 2017. DAAF Guadeloupe [WWW Document]. DAAF Guadeloupe. URL <http://daaf.guadeloupe.agriculture.gouv.fr/> (accessed 5.22.17).

- Dreicer, M., Hakonson, T., Wicker, F., White, G., 1983. Investigation of the Pathway of Contaminated Soil to Plant Surfaces by Raindrop Splash (The 6th International Congress of the International Radiation Protection Association No. UCRL8450 DE64 002720). Berlin.
- Dubuc, F., 2004. Les zones agricoles dessinent le paysage guadeloupéen. *Antiane* 10–13.
- Edmond-Mariette, P., 2005. L'utilisation du chlordécone et des autres pesticides dans l'agriculture martiniquaise et guadeloupéenne, (Rapport d'information No. 2430). France.
- Feidt, C., Jurjanz, S., Fournier, A., 2014. Démarche conceptuelle de sécurisation de l'élevage d'herbivores face à une pollution durable des sols par un insecticide organochloré : la chlordécone. Presented at the 44ème Congrès du Groupe Français des Pesticides.
- Fernandes, P., Lesueur-Jannoyer, M., Soler, A., Woignier, T., 2010. Effects of clay microstructure and compost quality on chlordecone retention in volcanic tropical soils: consequences on pesticide lability and plant contamination.
- Fintz, M., 2009. L'autorisation du chlordécone en France, 1968-1981 : Eléments historiques sur l'arrivée du chlordécone en France (Article de synthèse), Action 39 du Plan Chlordécone. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail.
- Fournier, A., Feidt, C., Lastel, M.-L., Archimède, H., Thome, J.-P., Mahieu, M., Rychen, G., 2017. Toxicokinetics of chlordecone in goats : Implications for risk management in French West Indies. *Chemosphere* 171, 564–570.
- Galan, F., Julien, L., Duflot, B., 2008. Caractérisation des systèmes d'élevage bovin des départements d'outre-mer (DOM). Premiers résultats issus des réseaux de références (Rapport de synthèse), "Réseaux de références" du Chapitre VI du POSEI. Guadeloupe (France).
- Galan, F., Reuillon, J.-L., Letellier, O., Bleubar, S., Marie, F., 2009. Caractérisation des systèmes d'élevage bovin des départements d'outre-mer (DOM). *Rencontres Autour Rech. Sur Rumin.* 369–376.
- Green, N., Johnson, D., Wilkins, B., 1996. Factors affecting the transfer of radionuclides to sheep grazing on pastures reclaimed from the sea. *J. Environ. Radioact.* 30, 173–183.
- Healy, W., 1968. Ingestion of soil by dairy cows. *N. Z. J. Agric. Res.* 11, 487–499.
- Herlin, A.H., Andersson, I., 1996. Soil ingestion in farm animals (A review No. 105). Suède.
- Hinton, T., Stoll, J., Tobler, L., 1995. Soil Contamination of Plant Surfaces from Grazing and Rainfall Interactions. *J. Environ. Radioact.* 29, 11–26.
- IEDOM, 2015. 2015 - Rapports annuels - Publications - Guadeloupe - IEDOM [WWW Document]. URL <http://www.iedom.fr/guadeloupe/publications/rapports-annuels/2015.html> (accessed 5.28.17).
- Insee, 2014. Insee – Institut national de la statistique et des études économiques | Insee [WWW Document]. L'Institut Natl. Stat. Études Économiques. URL <https://www.insee.fr/fr/accueil> (accessed 5.28.17).
- Jondreville, C., Bouveret, C., Lesueur-Jannoyer, M., Rychen, G., Feidt, C., 2013. Relative bioavailability of tropical volcanic soil-bound chlordecone in laying hens (*Gallus domesticus*). *J. Agric. Food Chem.* 20, 292–299.
- Jondreville, C., Fournier, A., Mahieu, M., Feidt, C., Archimède, H., Rychen, G., 2014. Kinetic study of chlordecone orally given to laying hens (*Gallus domesticus*). *Chemosphere* 114, 275–281.
- Jurjanz, S., Collas, C., Lastel, M.-L., Godard, X., Archimède, H., Rychen, G., Mahieu, M., Feidt, C., 2017. Evaluation of soil intake by growing Creole young bulls in common grazing systems in humid tropical conditions. *Animal* 6, 1350–1359.

- Jurjanz, S., Feidt, C., Pérez-Prieto, L., Ribeiro Filho, H.M., Rychen, G., Delagarde, R., 2012. Soil intake of lactating dairy cows in intensive strip grazing systems. *Animal* 6, 1350–1359.
- Jurjanz, S., Jondreville, C., Fournier, A., 2014a. La biodisponibilité relative du chlordécone de sols antillais chez les animaux d'élevage. Presented at the 44ème Congrès du Groupe Français des Pesticides, Schoelcher (Martinique), p. 2.
- Jurjanz, S., Jondreville, C., Mahieu, M., Fournier, A., Archimède, H., Rychen, G., Feidt, C., 2014b. Relative bioavailability of soil-bound chlordecone in growing lambs. *Env. Geochem Health* 36, 911–917.
- Jurjanz, S., Roinsard, A., 2014. Intake of soil and grass by sows on pasture. *Alter Agri* 125, 27–28.
- Kermarrec, A., 1980. Niveau actuel de la contamination des chènes biologiques en Guadeloupe : pesticides et métaux lourds (1979-1980) (No. 7883). Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA), France.
- Lastel, M.-L., 2015. Chlordécone et filières animales antillaises - De la distribution tissulaire aux stratégies de décontamination chez les ruminants (Sciences Agronomiques). Université de Lorraine, France (Nancy).
- Lastel, M.-L., Lerch, S., Fournier, A., Jurjanz, S., Mahieu, M., Archimède, H., Feidt, C., Rychen, G., 2016. Chlordecone disappearance in tissues of growing goats after a one month decontamination period :effect of body fatness on chlordecone retention. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 3176–3183.
- Le Déaut, J.-Y., Procaccia, C., 2009. Les impacts de l'utilisation de la chlordécone et des pesticides aux Antilles : bilan et perspectives d'évolution (No. 1778). L'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques (OPECST), France.
- Lesueur-Jannoyer, M., Cattan, P., Monti, D., Saison, C., Voltz, M., Woignier, T., Cabidoche, Y.-M., 2012. Chlordécone aux Antilles : évolution des systèmes de culture et leur incidence sur la dispersion de la pollution. *Agron. Environ. Sociétés* 2, 45.
- Létondor, C., 2014. Etude des mecanismes histologiques et physiologiques du transfert de la chlordecone (insecticide organochlore) dans les vegetaux. (Hydrologie, Hydrochimie, Sols, Environnement). Université de Toulouse, Toulouse.
- Levillain, J., Cattan, P., Colin, F., 2012. Analysis of environmental and farming factors of soil contamination by a persistent organic pollutant, chlordecone, in a banana production area of French West Indies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 159, 123–132.
- Li, J., Gerzabek, M., Mück, K., 1994. An experimental study on mass loading of soil particles on plant surfaces. *Bodenkult.* 45, 15–24.
- Macarie, H., 2014a. Panorama de la problématique chlordécone : Contexte historique, situation actuelle aux Antilles, gestion du problème et quelles pistes pour une solution définitive.
- Macarie, H., 2014b. Devenir de la chlordécone en conditions méthanogéniques.
- Mahieu, M., 2016. Contamination par la Chlordecone et Produits animaux.
- Mahieu, M., 2014. Chlordécone et élevage, variabilité individuelle des capacités d'ex-crétion des ruminants et conséquences sur leur contamination.
- Mahieu, M., 2013. Contamination des animaux d'élevage terrestres (Rapport technique final), CHLORDEPAN. Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA).
- Mahieu, M., Archimède, H., Cabidoche, Y.-M., Iotti, J., 2012a. Possibilités de décontamination de bovins contaminés par la Chlordécone.
- Mahieu, M., Archimède, H., Feidt, C., Jurjanz, S., Rychen, G., 2012b. Avancées des études sur la contamination par la chlordecone et les possibilités de décontamination des ruminants. Presented at the Les journées de la recherche chlordécone, Gosier (Guadeloupe) ; Fort de France (Martinique).

- Mazurak, A.P., Mosher, P.N., 1968. Detachment of Soil Particles in Simulated Rainfall. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 32, 716–719.
- Merlin, C., 2014. Caractérisation de populations microbiennes tolérantes au chlordécone à partir de sols contaminés des Antilles.
- Météo France, 2017. Précipitation Annuelle En Guadeloupe Par Météo-France [WWW Document]. Météo Fr. URL http://www.meteofrance.gp/climat/pluies-annuelles/rr_an_guadeloupe (accessed 5.26.17).
- Multigner, L., 2014. Chlordécone : Quels risques pour la santé des populations antillaises.
- Naves, M., Alexandre, G., Leimbacher, F., Mandonnet, N., Menendez-Buxadera, A., 2001. Les ruminants domestiques de la Caraïbe : le point sur les ressources génétiques et leur exploitation. *INRA Prod. Anim.* 14, 181–192.
- Naves, M., Alexandre, G., Mahieu, M., Gourdine, J.-L., Mandonnet, N., 2011. Les races animales locales : bases du développement innovant et durable de l'élevage aux Antilles. *Innov. Agron.* 16, 193–205.
- Nelson Beyer, W., E. Connor, E., Gerould, S., 1994. Estimates of Soil Ingestion by Wildlife. *J. Wildl. Manag.* 58, 375–382.
- Pascal-Lorber, S., Létondor, C., Liber, Y., L. Jamin, E., Laurent, F., 2016. Chlordecone Transfer and Distribution in Maize Shoots. *Agric. Food Chem.* 64, 409–415.
- Programme Jafa [WWW Document], 2017. . JAFA - Programme Jard. Fam. Guadeloupe. URL <http://jafa.ireps.gp/programme-jafa/> (accessed 5.21.17).
- Rafferty, B., Dawson, D., Colgan, P., 1994. Seasonal variations in the transfer of ¹³⁷Cs and ⁴⁰K to pasture grass and its ingestion by grazing animals. *Sci. Total Environ.* 125–134.
- Ranguin, R., 2014. Adsorption et dégradation de la chlordécone (CLD) et du hexachlorocyclohexane (HCH) par un matériau hybride : charbon actif-VB12.
- Risser, T., 2014. Contamination des eaux de rivières des Caraïbes par la chlordécone : réponse des communautés microbiennes épilithiques.
- Saaidi, P.-L., 2014. La chlordécone est-elle biodégradable ?
- Smith, K., Abrahams, P., Dagleish, M., Steigmajer, J., 2009. The intake of lead and associated metals by sheep grazing mining-contaminated floodplain pastures in mid-Wales, UK: I. Soil ingestion, soil–metal partitioning and potential availability to pasture herbage and livestock. *Sci. Total Environ.* 407, 3731–3739.
- Snegaroff, J., 1977. Les résidus d'insecticides organochlorés dans les sols et les rivières de la région bananière de Guadeloupe (No. 26), *Phytiatrie-Phytopharmacie*. Institut Nationale de la Recherche Agronomique (INRA), France.
- Soine, P.J., Blanke, R.V., Guzelian, P.S., Schwartz, C.C., 1982. Preferential binding of chlordecone to the protein and high density lipoprotein fractions of plasma from humans and other species. *J. Toxicol. Environ. Health* 9, 107–118.
- Soine, P.J., Blanke, R.V., Schwartz, C.C., 1983. Chlordecone metabolism in the pig. *Toxicol. Lett.* 17, 35–41.
- UNEP, 2006. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its second meeting (Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants Persistent Organic Pollutants Review Committee Second meeting No. UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.2). United Nations Environment Programme, Genève.
- Woignier, T., 2014. La séquestration des pesticides, une alternative à la dépollution. Résultats expérimentaux et simulation.
- Woignier, T., Clostre, F., Cattani, P., Levillain, J., Cabidoche, Y.-M., Lesueur-Jannoyer, M., 2014. Diagnosis and Management of Field Pollution in the Case of an Organochlorine Pesticide, the Chlordecone, in: *Environmental Risk Assessment of Soil Contamination*. Maria C. Hernandez-Soriano, pp. 614–636.

- Woignier, T., Clostre, F., Macarie, H., Jannoyer, M., 2012. Chlordecone retention in the fractal structure of volcanic clay. *J. Hazard. Mater.* 241–242, 224–230.
- Woignier, T., Fernandes, P., Soler, A., Clostre, F., Carles, C., Rangon, L., Lesueur-Jannoyer, M., 2013. Soil microstructure and organic matter : Keys for chlordecone sequestration. *J. Hazard. Mater.* 262, 357–364.
- Woignier, T., Morell, M., Morell, O., Duffours, L., Soler, A., 2011. Low water transport in fractal microstructure of tropical soils : application to chlordecone pesticide trapping. *Ecohydrol. Hydrobiol.* 11, 121–127.
- Yehya, S., Delannoy, M., Fournier, A., Baroudi, M., Rychen, G., Feidt, C., 2017. Activated carbon, a useful medium to bind chlordecone in soil and limit its transfer to growing goat kids. *PloS One* 12, e0179548.

Table des annexes

ANNEXE 1 : Cartographie des zones agricoles de la Guadeloupe selon leurs activités dominantes (Dubuc 2004)	89
ANNEXE 2 : Production agricole en Guadeloupe (extrait de IEDOM, 2015)	89
ANNEXE 3 : Evolution du cheptel Guadeloupéen (Agreste 2017)	90
ANNEXE 4 : Présentation des trois Plan Chlordécone successif	90
ANNEXE 5 : Caractéristiques physico-chimiques de la Chlordécone	92
ANNEXE 6 : zone de pêche interdite et partiellement interdite	93
ANNEXE 7 : Méthode de quantification du CLD (AFSSA)	94
ANNEXE 8 : Programme JAFA (« Programme Jafa » 2017)	94
ANNEXE 9 : Quantités de sol ingéré par différentes espèces de rente (Bouveret 2012; Herlin et Andersson 1996; Lastel 2015).....	95
ANNEXE 10 : Information des bovins utilisés lors de l'expérience	96
ANNEXE 11 : Evaluation des constituants membranaires à partir des techniques Van Soest et Wine (1967).....	96
ANNEXE 12 : Dosage de l'azote avec l'analyseur élémentaire RapidN Cube (Elementar) (méthode Dumas)	103
Annexe 13 : Guide d'entretien.....	105

ANNEXE 1 : Cartographie des zones agricoles de la Guadeloupe selon leurs activités dominantes (Dubuc, 2004)

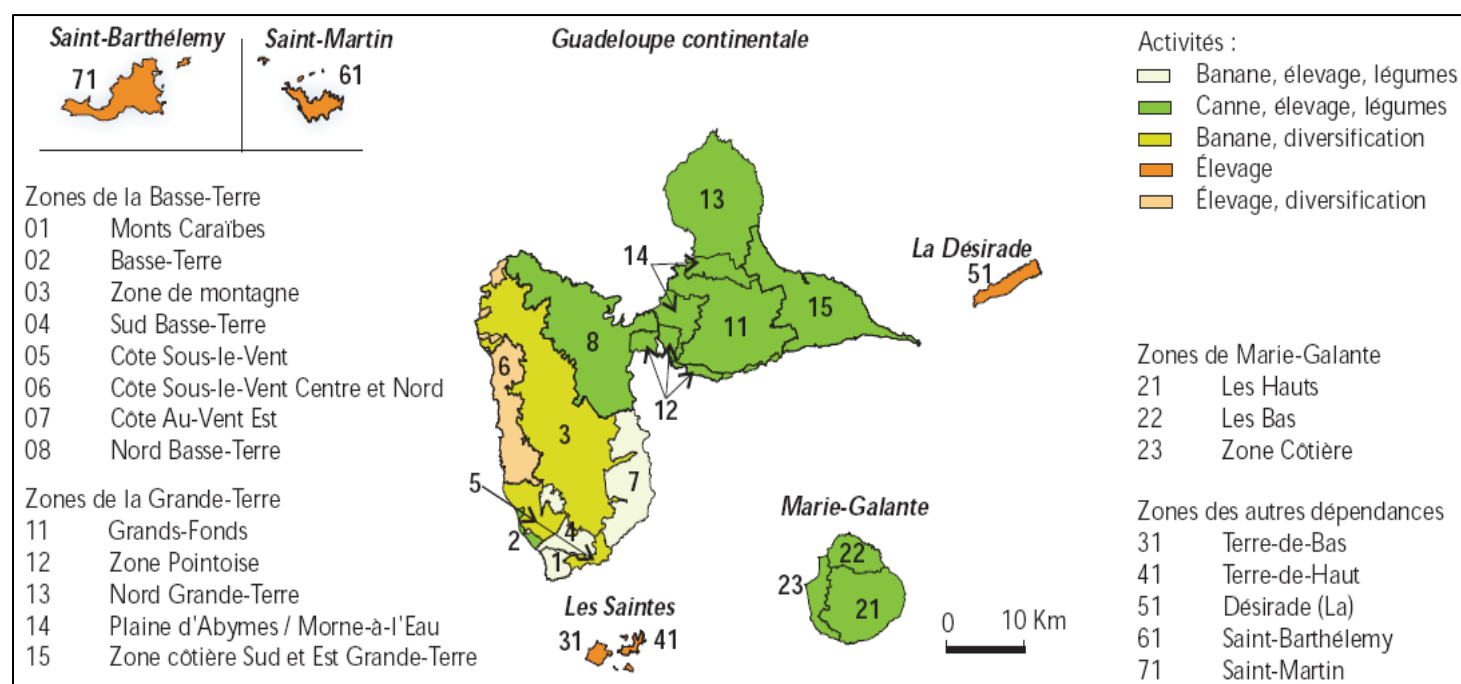


Figure 24 : Cartographie des zones agricoles de la Guadeloupe selon leurs activités dominantes (Dubuc, 2004)

ANNEXE 2 : Production agricole en Guadeloupe (extrait de IEDOM, 2015)

	2013		2014		Var 14/13*
En million d'€	Valeur	Part**	Valeur	Part	Valeur
Légumes	23,9	12,1%	25,6	12,7	7,1%
Fruits (dont bananes d'exportation)	75,1	38,1%	82,7	41,1%	10,1%
Plantes industrielles (dont canne à sucre)	19,5	9,9%	24,7	12,3%	1,3%
Divers (fleurs, plantes)	27,7	14,0%	19,7	9,8%	-14,7%
Total production végétale	155,4	78,9%	162,5	80,6%	1,3%
Bétail (bovins, caprins, ovins, porcins)	30,9	15,7%	25,5	12,7%	0,6%
Produits avicoles	9,8	5,0%	12,5	6,2%	-0,4%
Produits des animaux	1,0	0,5%	1,0	0,5%	0,0%
Total production animale	41,7	21,1%	39,0	19,4%	0,3%
Production agricole totale	197,1	100,0%	201,4	100,0%	1,2%

*Variations des valeurs entre 2014 et 2013

**Part de la production agricole totale

Tableau 11 : Production agricole en Guadeloupe (extrait de IEDOM, 2015)

ANNEXE 3 : Evolution du cheptel Guadeloupéen (Agreste, 2017)

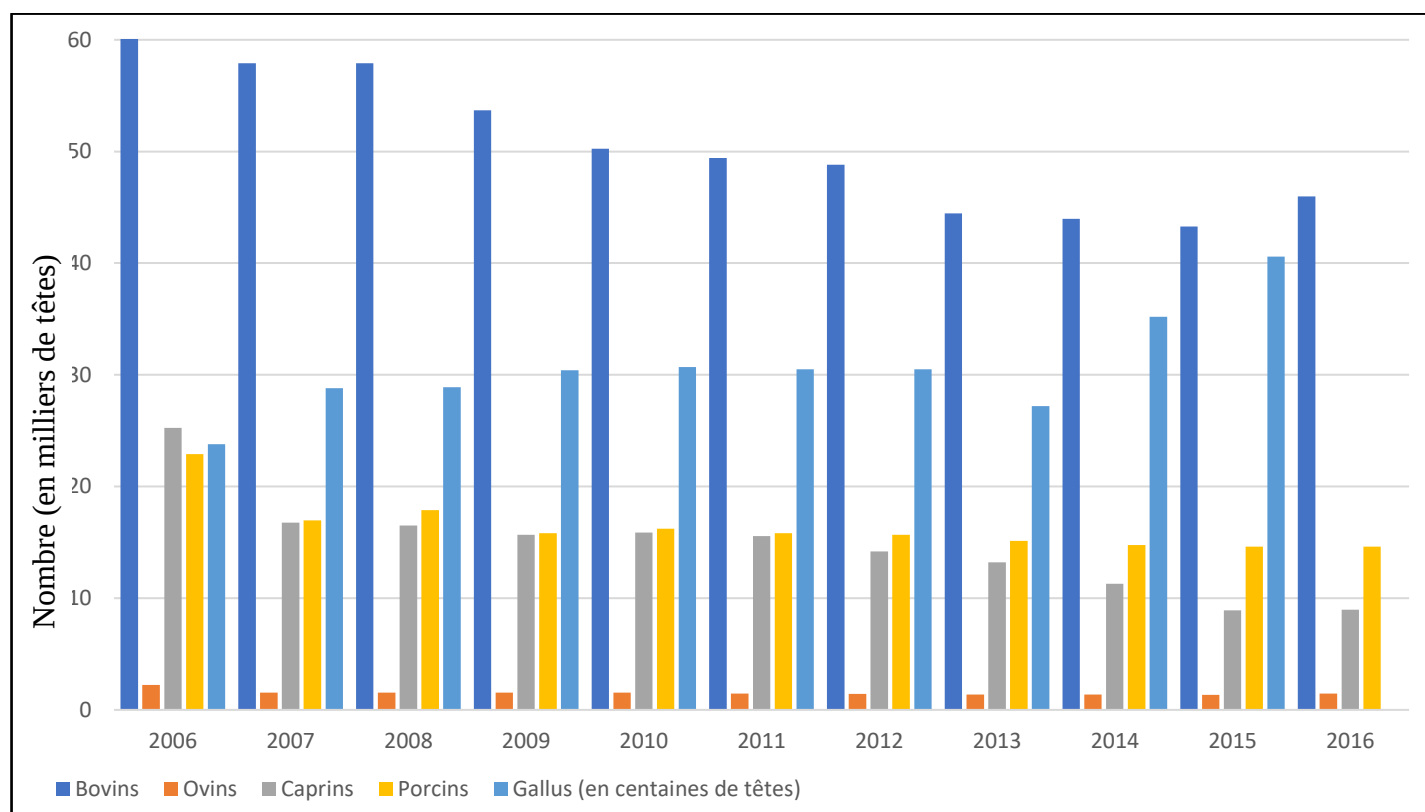


Figure 25 : Evolution du cheptel Guadeloupéen (Agreste, 2017) Année

ANNEXE 4 : Présentation des trois Plan Chlordécone successif

- Plan Chlordécone I (2008-2010) (<http://agriculture.gouv.fr/ministere/plan-daction-chlordecone-en-martinique-et-en-guadeloupe-2008-2010-rapport-interministeriel>)

A. RENFORCER LA CONNAISSANCE DES MILIEUX

- De disposer d'une carte précise et opérationnelle des sols contaminés et de dispositifs renforcés de surveillance des eaux continentales et souterraines,
- De développer et d'accélérer les analyses multimatrices (sols, eaux, végétaux, produits animaux),
- Et, de poursuivre les recherches sur les milieux, ce qui suppose de mieux connaître la dynamique environnementale de la molécule, préalable indispensable à l'exploration de solutions de dépollution.

B. Réduire l'exposition et mieux connaître les effets sur la santé

- De cerner plus exactement l'exposition de certaines catégories (comme les nourrissons et les jeunes enfants) et de mettre en place des dispositifs de surveillance (création d'un registre du cancer en Guadeloupe, création d'un registre des malformations congénitales) ;
- De réduire l'exposition alimentaire des populations, en adaptant les plans de surveillance et de contrôle aux nouvelles LMR en vigueur depuis le 1^{er} septembre 2008 (20 µg/kg de produits frais contre 50 µg/kg de produits frais précédemment) et en accélérant la mise en application du programme sur les jardins familiaux (JAFA) destiné aux populations pratiquant une forte autoconsommation dans des zones polluées par le chlordécone.

C. Assurer une alimentation saine et gérer les milieux contaminés

- Le renforcement des conseils aux agriculteurs installés sur des sols contaminés, ce qui suppose l'établissement de référentiels permettant de savoir quelle mise en culture est possible en fonction du degré de contamination des sols,
- Le développement de la traçabilité des produits et de l'information des consommateurs,
- Le lancement de recherches en vue de la diversification ou de la reconversion des exploitations agricoles (par exemple, la valorisation énergétique des cultures),
- L'établissement de la conformité de la production piscicole et, le cas échéant, son transfert dans des eaux non contaminées,
- Et, une meilleure connaissance de l'exposition des populations à l'ensemble des pesticides utilisés aux Antilles.

D. Améliorer la communication et rechercher une coopération internationale

- De mettre en place une communication de proximité en informant les populations des étapes de la mise en œuvre du plan,
- De mettre à disposition sur Internet l'ensemble des données disponibles sur l'utilisation des pesticides aux Antilles,
- Et d'organiser des consultations publiques (focus puis forum) sur le déroulement des différentes actions du plan.
- Coordonner les recherches épidémiologiques et les études de solutions de remédiations avec les pays qui ont utilisé le chlordécone ou des analogues se dégradant en chlordécone dans l'environnement.

- Plan Chlordécone II (2011-2013) (http://www.observatoire-pesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/861964726688575508094667982737/plan_acti on_chordecone_2011_2013.pdf)

A. Approfondir la connaissance sur l'état de l'environnement et développer des techniques de remédiation de la pollution**B. Surveiller l'état de santé des populations et améliorer la connaissance des effets sur la santé****C. Poursuivre la réduction de l'exposition des populations, assurer la qualité de la production alimentaire locale et soutenir les agriculteurs, pêcheurs et aquaculteurs****D. Gérer les milieux contaminés et assurer l'information de la population**

- Plan Chlordécone III (2014-2020) (<http://social-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/les-plans-d-action-nationaux/article/le-plan-chlordecone-3-2014-2020>)

- A. Le premier axe a vocation à élaborer une stratégie de développement durable dans l'objectif d'améliorer la qualité de vie des populations et de permettre la modification rationnelle des comportements. Il met l'accent sur la communication et le partage d'information entre les acteurs.

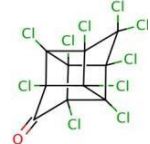
Il prévoit notamment l'élaboration de chartes patrimoniales (charte signée en Martinique, charte en cours d'élaboration en Guadeloupe) ;

- B. Le deuxième axe favorise une approche de prévention du risque sanitaire et de protection des populations dans une stratégie de réduction de l'exposition. Il vise à améliorer et à pérenniser les actions de surveillance des denrées, en communiquant sur les résultats de cette surveillance, à initier de nouvelles études sur l'impact sanitaire de cette pollution pour compléter celles menées dans le cadre du deuxième plan et pour répondre aux interrogations de la population ;
- C. Le troisième axe est consacré aux actions de recherche qu'il faudra soutenir et développer selon quatre grands domaines : santé humaine, santé animale, environnement (air, eau, sols, plantes) et sciences humaines, économiques et sociales ;
- D. Le quatrième axe répond aux enjeux socio-économiques induits par la pollution par le chlordécone et vise à accompagner les professionnels de la pêche et de l'agriculture dont l'activité est impactée par cette pollution. Des actions sont mises en place pour répondre au mieux aux attentes des professionnels de ces deux types de filières. La pêche est le principal secteur d'intervention de ce troisième plan (plus de 20% des crédits pour 2014-2016).

Un rapport d'évaluation des Plans I et II publié par l'Assemblée Nationale est disponible à l'adresse suivante : <http://agriculture.gouv.fr/ministere/evaluation-des-plans-daction-chlordecone-aux-antilles-martinique-guadeloupe>.

Des actions au niveau du PNSE (<http://social-sante.gouv.fr/sante-et-environnement/les-plans-d-action-nationaux/article/le-plan-national-sante-environnement-pnse3-2015-2019>) et du plan des micropolluants (2009-2015) comprennent également des actions sur le chlordécone comme l'étude Kannari (InVS), l'identification de tous les pesticides utilisés sur la banane et une reconstitution de la cohorte de travailleurs exposés au CLD.

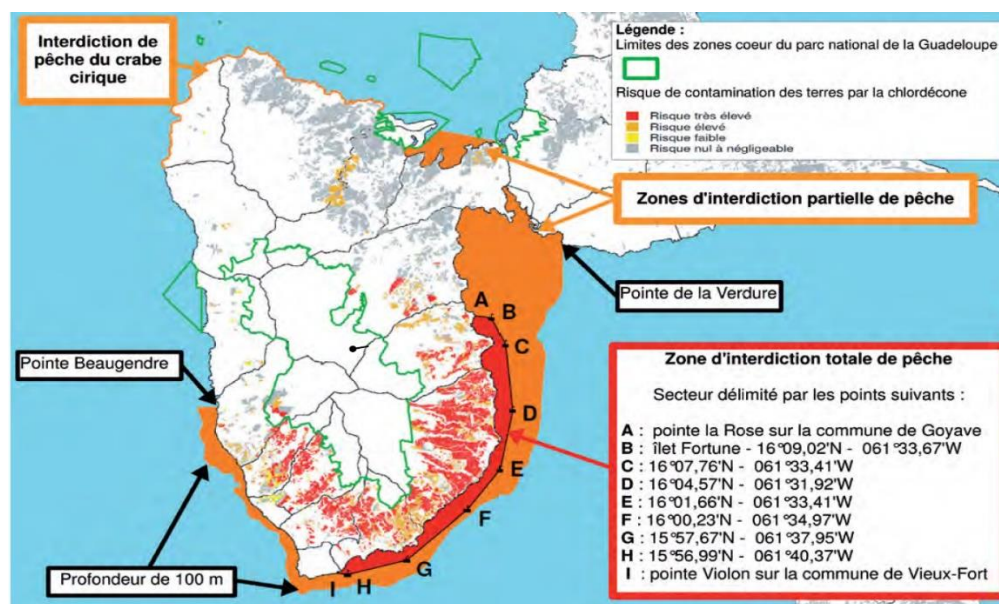
ANNEXE 5 : Caractéristiques physico-chimiques de la Chlordécone

Identité	Famille	
	Organochloré, bishomocubane	
	Nom IUPAC 1, 1a,3, 3a,4,5,5, 5a,5b,6 déchlorooctahydro- 2H-1,3,4 (méthanetriyl)cyclobuta[cd]pentalen- 2-one	Noms usuels commerciaux Kepone®, Curlone®, GC- 1159®, ENT 16391
Propriétés chimiques et physiques	Formule chimique $C_{10}Cl_{10}O$	Structure chimique 
	Solubilité	
	Eau pH 4 : 1,75 mg. L ⁻¹ Eau pH 10,9 : 175 mg. L ⁻¹	Acétone : très soluble Éther de pétrole : soluble
	Solvants organiques (benzène et hexane) : soluble sous sa forme anhydre	Solvants oxygénés (alcools et cétones) : soluble sous sa forme hydratée

	Coefficient de partage octanol/eau (K_{ow}) entre 4,50 et 5,41	Réactivité avec l'eau Formation d'hydrates hydrosolubles
	Ininflammable	Volatilité Faible : Constante de la loi de Henry variant entre $2,0.10^{-2}$ et $5,45.10^{-3}$ Pa.m ³ . mole ⁻¹ (25°C) selon les données utilisées pour son calcul
	Affinité - Pour les tissus adipeux - Pour la matière organique des sédiments et du sol	Incompatibilité - Acides minéraux forts - Oxydants puissants
	Dégradabilité - Faible dégradation biotique et abiotique - Résistante à la dégradation aérobie en milieu aquatique ou dans le sol - Biodégradation anaérobie sous certaines conditions	
Risques	 Toxique  Effets néfastes sur les organismes des milieux aquatiques  Cancérigène Mutagène Reprotoxique	

Tableau 12 : Caractéristiques physico-chimiques du Chlordécone (Lastel, 2015)

ANNEXE 6 : zone de pêche interdite et partiellement interdite



Source : arrêté préfectoral n° 2014059-004 du 28 février 2014

Tableau 13 : zone de pêche interdite et partiellement interdite

ANNEXE 7 : Méthode de quantification du CLD (AFSSA)

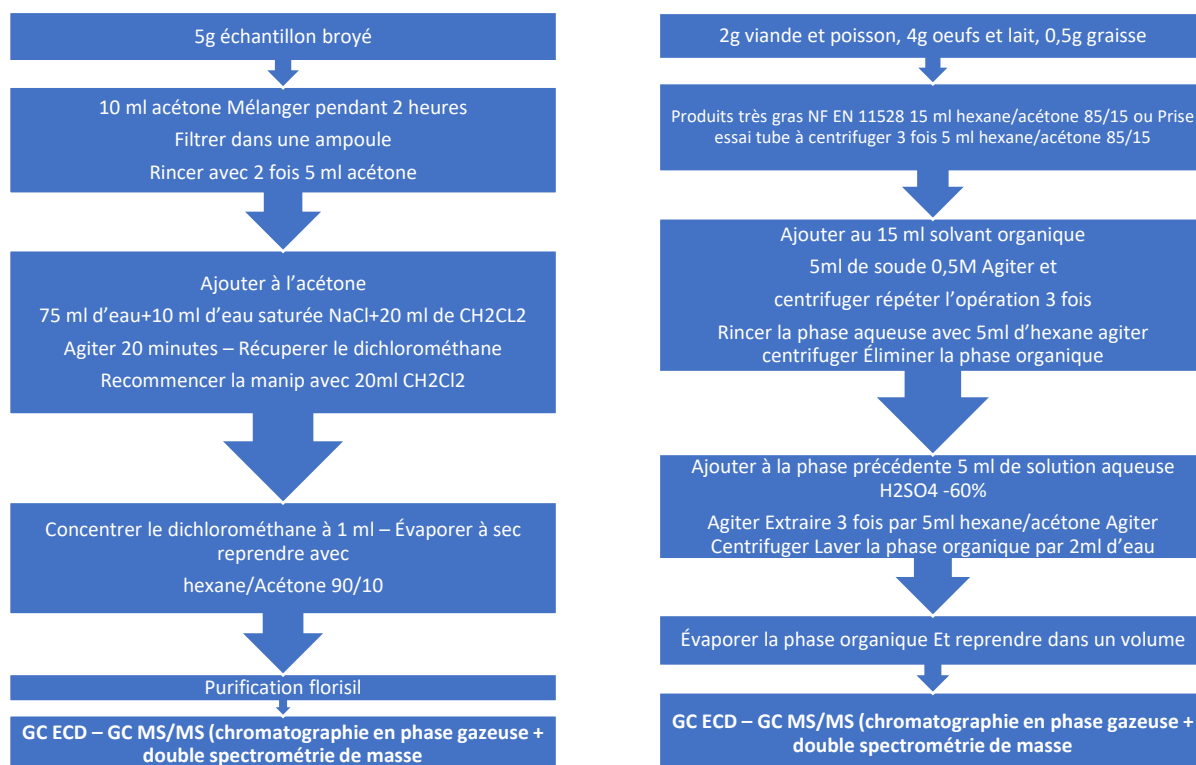


Figure 26 : Méthode AFSSA Produits Végétaux et Produits Animaux

ANNEXE 8 : Programme Jafa (“Programme Jafa,” 2017)

Débuté en 2009, le Programme des Jardins Familiaux (Jafa) de Guadeloupe est un programme régional de prévention et d'éducation à la santé, piloté par l'Agence de Santé de Guadeloupe, Saint-Martin et Saint-Barthélemy (ARS) et l'Instance Régionale d'Education et de Promotion de la Santé de Guadeloupe (IREPS). Il s'inscrit dans le cadre des Plans Nationaux d'Actions Chlordécone et a pour objectif général de « réduire l'exposition à la chlordécone des populations ayant des habitudes d'approvisionnement et d'autoconsommation de denrées animales et végétales issues de jardins familiaux ». Ainsi, il s'adresse aux particuliers habitant dans les zones où les terres sont potentiellement polluées par la chlordécone et s'alimentant régulièrement des productions issues de leur jardin, de celui de leur voisinage ou de circuits informels de distribution (dons, échanges, marchands de bord de route...). En Guadeloupe, les zones potentiellement polluées par la chlordécone correspondent à celles où la banane a été cultivée entre 1972 et 1993. Notons toutefois qu'il est possible que cette molécule ait été utilisée sur d'autres cultures. Mises en œuvre avec les populations concernées, dans une démarche participative de promotion de la santé, et s'appuyant sur un réseau de partenaires et de prestataires, les différentes phases du Programme Jafa de Guadeloupe s'articulent autour de 3 axes :

- Une communication régionale et de proximité

Orientée vers la population concernée et le grand public, les objectifs de la communication du Programme Jafa sont, informer sur la chlordécone et sur le Programme Jafa, et diffuser les recommandations visant à limiter l'exposition à la chlordécone. Pour cela, de 2009 à 2011, la communication régionale du Programme Jafa a utilisé les médias locaux (radios, TV, presses écrites...) ; des plaquettes et livrets ont également été créés. En 2014, une nouvelle campagne de communication grand public a été lancée via des chroniques audios.

Parallèlement, de 2009 à 2014, la communication de proximité du Programme Jafa s'est appuyée sur des réunions de quartier et autres manifestations grand public qui se sont tenues régulièrement dans les communes concernées.

- Un diagnostic des jardins familiaux

S'appuyant sur la carte des sols de Guadeloupe potentiellement pollués par la chlordécone, d'avril 2009 à fin 2012, des enquêtes ont été menées en porte-à-porte auprès de l'ensemble des foyers résidant sur les zones potentiellement polluées par la chlordécone. L'objectif de ces enquêtes était de mieux connaître les habitudes alimentaires et sources d'approvisionnement de ces foyers. En fonction des réponses apportées, si le foyer présentait des pratiques alimentaires considérées « à risque » (c'est-à-dire ayant une fréquence de consommation élevée de racines et tubercules provenant de leur jardin), des prélèvements et analyse de sol étaient proposés afin de connaître le niveau de pollution du jardin.

- Des actions d'éducation pour la santé

Afin de réduire leur exposition à la chlordécone via l'autoconsommation des productions de leur jardin, les foyers « à risque » sont invités à adapter leurs comportements alimentaires, à adopter des méthodes culturales alternatives ...Pour cela, des supports pédagogiques spécifiques ont été créés, dès mars 2010, afin de faciliter les échanges et explications avec les foyers « à risque » ; ces supports sont remis à chaque foyer. C'est à partir d'octobre 2012 que la problématique de l'élevage et de la chlordécone a commencé à être abordée, en s'appuyant sur le livret « Elevage et chlordécone – Préconisations » édité par la DAAF de Guadeloupe. Notons que ces outils nécessitent de régulières mises à jour, l'évolution des connaissances relatives à la chlordécone étant très rapide.

ANNEXE 9 : Quantités de sol ingéré par différentes espèces de rente (Bouveret, 2012; Herlin and Andersson, 1996; Lastel, 2015).

Espèce	Ingestion de sol (kg/j ⁻¹)	Ingestion de sol (% de quantité ingérée)	Références
Bovins	1.3	10.4	Jurjanz et al., 2012
	0.83	6.0	Adams et Morales-Garcia (2008)
		1.0 à 18	Thornton and Abrahams, (1983)
		14 et 20	Mayland et al., 1977
	0.5 à 2.2	2 à 14	Healy (1968)
		3.4	Green & Dodd (1988)
		1.38 à 2.43	Fries et al., 1982
		4.4 à 9.3	Jurjanz et al., 2017
Chèvre	0.12	10	Adams et Morales-Garcia (2008)
Mouton	0.20	10	
		0.25 à 3.77	Fries et al., 1982
Porc		8	Fries et al., 1982
		0.3	Jurjanz et Roinsard (2014)
Poule pondeuse	0.03		Waegeneers et al., 2009
	0.03	25	Jondreville et al., 2011b, 2014

Tableau 14 : Quantités de sol ingéré par différentes espèces de rente (Bouveret, 2012 ; Herlin et Andersson, 1996 ; Lastel, 2015)

ANNEXE 10 : Information des bovins utilisés lors de l'expérience

N° d'identification	Date de naissance	Vague	Poids de naissance	Robe	Date de sevrage	Poids de sevrage (kg)	Poids début essai (kg)
FR 971045-3801	30/04/16	1	24	Brune	12/12/2016	134	134
FR 971045-3806	05/05/16	1	23	Montbéliarde	12/12/2016	150	165
FR 971045-3809	06/05/16	1	23	Brune	12/12/2016	124	120
FR 971045-3813	07/05/16	2	20	Noire	12/12/2016	124	128
FR 971045-3814	07/05/16	2	24	Noire	12/12/2016	136	147
FR 971045-3833	16/05/16	1	28	Acajou	12/12/2016	143	140
FR 971045-3842	20/05/16	2	26	Rouge	12/12/2016	175	174
FR 971045-3844	23/05/16	1	32	Noire	12/12/2016	174	180
FR 971045-3847	25/05/16	1	25	Beige	12/12/2016	178	147
FR 971045-3850	27/05/16	2	28	Rouge	12/12/2016	157	143
FR 971045-3867			23	Rouge cuivré	23/01/2017	172	179
FR 971045-5770			31	Noire	23/01/2017	137	148

Tableau 15 : Informations relatives aux bovins utilisés lors de l'expérience

ANNEXE 11 : Evaluation des constituants membranaires à partir des techniques Van Soest et Wine (1967)

Rédigé par : SAMINADIN Georges	Code: E-MO-xx04001	Nombre de pages : 9
Revu par : SILOU Tatiana et Brigitte CALIF	N° Version : 1	
Validé par :	Emis le : 15/10/98	
Destinataires : tt agent laboratoire	Modifiée le : 23/10/2007	

Objet et domaine d'application

Cette technique procède par la succession de trois hydrolyses et l'évaluation du résidu représentatif de la fraction indigestible des aliments. Technique utilisée pour tous les fourrages et aliments concentrés contenant des constituants membranaires.

Documents de référence

VAN SOEST P.J., 1963. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. A rapid method for the determination of fiber and lignin. J. of A.O.A.C., 46 (5), p. 825-835.

VAN SOEST P.J. , WINE R. H. , 1967. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. J. of A.O.A.C., 50 (1).

Liste de diffusion et si nécessaire niveau de confidentialité

Tous les agents de laboratoire

Hygiène et sécurité

Mettre des gants et un masque pour la préparation des réactifs

Manipulation des réactifs et dosage sous hotte

Ne jamais mettre le chauffage s'il n'y a pas de liquide dans le vase

Toujours ouvrir la vanne de vidange avant d'ouvrir le couvercle du vase de digestion après une hydrolyse.

Principe de la méthode

Les parois végétales sont constituées principalement de polysides et de quantités plus ou moins importantes de protéines et de lignine, constituant non glucidique, mais qui accompagne généralement les polysides de structure (TOLLIER et RIQUET, 1980). Ces polysides de structure peuvent être divisés en trois catégories : la cellulose, les polysides non celluloses ou hémicellulose et les substances pectiques. La cellulose est l'élément essentiel des parois cellulaires des végétaux supérieurs où elle joue le rôle de substance de soutien. Elle se rencontre rarement à l'état pur mais se trouve associée dans les tissus végétaux avec des substances très diverses telles que lignine, hémicellulose, glucosanes, matières pectiques, matières minérales. Le terme hémicellulose correspond aux composés glucidiques que l'on rencontre associés à la cellulose. Ils peuvent être divisés en deux groupes : les pentosanes constitués de pentoses et les hexosanes non celluloses. Les substances pectiques, polymères mixtes d'oses et d'acides uroniques, font fonction de ciments intracellulaires. La lignine, substance non glucidique, de nature aromatique, incruste la cellulose et les hémicelluloses de la paroi végétale. La technique de VAN SOEST est basée sur trois hydrolyses successives. :

- 1- La cellule est gonflée par ébullition avec une solution détergente neutre laurylsulfate de sodium et libère son contenu cellulaire, il n'y reste que l'hémicellulose, la cellulose et la lignine appelées « NDF » Fibre au Détergent Neutre.
- 2- Par ébullition avec une solution sulfurique (H_2SO_4 , N) de bromure de cetyltriméthylammonium, les protéines, les glucides et les hémicelluloses sont solubilisés, permettant ainsi de déterminer l'ensemble : cellulose + lignine encore appelée « Fibre au Détergent Acide » ADF
- 3- A partir de cette Fibre au Détergent Acide la lignine est estimée après solubilisation de la cellulose dans l'acide sulfurique 72 %.

La technique de VAN SOEST est adaptée au FIBERSAC

- 24 sachets contenant chacun environ exactement 0,500 g de fourrage pour un volume de 2000 ml de solution.
- Moins d'échantillons peuvent être traités, mais un minimum de 1,6 Litres de solution est nécessaire dans le vase de digestion, soit 19 sachets maxi.

Matériels nécessaires

- Balance de précision au 1/10 de mg pour la pesée des échantillons.
- Balance de 6000 g pour la préparation des réactifs
- Un FIBERSAC, digesteur thermo staté.
- Agitateurs magnétiques
- Eau chaude en grande quantité
- Bouilloire de 1,700 litre
- Thermo soudeuse
- Sac téflon de 25µ, vide de maille, un par échantillon
- Plaque chauffante
- 2 Béchers à anse de 2000 ml en acier inox
- Densimètres pour $d = 1.634$ et $d = 1.84$
- Thermomètre -10 à +150°C
- pH mètre
- Bécher de 1000 ml, 3000 ml, 5000 ml en verre pyrex épais spécial
- Bécher en plastique de 2000 ml pour la lignine
- Epruvettes de 100 ml, 250ml
- Plusieurs baguettes en verre de 10 mm de diamètre

- Seau en plastique de 12 litres
- Glace pilée
- Etuve réglée à 103°C
- Essoreuse à salade avec trou d'entrée et de sortie d'eau
- Pissette pour acétone
- Stylo feutre noir résistant aux acides et solvants à chauds pour la numérotation des sachets téflon référence **BIC 1445**.
- Grandes barquettes en alu pour le séchage des sachets à l'étuve.

1. Réactifs (chimiques et biologiques)

Température de préparation de stockage et d'utilisation environ 20-23°C. Préparation pour **8000 ml** de NDS à pH 6.9-7.0

1 - EAU DISTILLEE
2 – LAURYL SULFATE DE SODIUM (C ₁₂ H ₂₅ Na O ₄ S, 288,38g). 120 € / 1000G (2.5g/Ech) 240,0 g
OU SODIUM DODECYLSULFATE (C ₁₂ H ₂₅ NaO ₄ S, 288,38 g)
3 – DISSODIUM ETHYLENE DIAMINE TETRAACETIQUE (EDTA) cristallisé
OU ACIDE ETHYLENEDIAMINETETRAACETIQUE sel dis sodique (C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₈ Na ₂ , 2H ₂ O, 372,24g) 100€/1000g 148.88 g
4 – SODIUM BORATE DECAHYDRATE , (Na ₂ B ₄ O ₇ , 10H ₂ O, 381, 37 g) 60 € /1000g 54.48 g
OU SODIUM BORATE DECAHYDRATE ANHYDRE, (Na ₂ B ₄ O ₇ , 201,22 g) 115 € / 1000g 28.72 g
5 – DISSODIUM HYDROGENE PHOSPHATE , anhydre, (Na ₂ HPO ₄ , 141, 96 g) 80 € / 1000g 36.48 g
6 – 2 - Ethoxy ETHANOL (ETHYLENE GLYCOL MONOETHYL ETHER), (C ₂ H ₅ O(CH ₂) ₂ OH où CH ₃ CH ₂ OCH ₂ CH ₂ OH, 90, 12 g) C ₄ H ₁₀ O ₂ 12 € /1000ml 80, 00 ml
7 – HYDROXYDE DE SODIUM si pH inférieur à 7. Pas nécessaire avec des réactifs de bonne qualité
8 – EAU DISTILLEE Q S P 8000 ml

Préparation pour **8000 ml** de **ADS 1N**

1 - EAU	5000 ml
2 – CETYLTRIMETHYLAMMONIUM BROMIDE (CTAB) 150 € / 1000G (2003) (1,67 g / Ech.	160g
3 – ACIDE SULFURIQUE PUR (H ₂ SO ₄) 20 € / 1000 ml	392g
4 – EAU Q. S. P.	8000 ml

Préparation de la solution d'ADL à **d =1,634** à **20°C** à partir H₂SO₄ d=1,84. Mettre de l'eau distillée à congeler pendant au moins deux jours. Pour une dose d'ADL (380 ml).

- Peser dans un bécher de 2000 ml, 938,21 g d'acide sulfurique pur ($d=1,84$). *Cet acide pur est conservé en chambre froide à +4°C*
- Dans un autre bécher de 3000ml, peser 303,63 g de glace.
- Mettre le bécher de glace dans un bain thermo staté avec de la glace pilée
- Verser lentement l'acide dans la glace (sous agitation)
- Relever la température qui ne doit jamais excéder les 30°C
- Si après avoir pris la densité à 20°C, la solution mérite un ajustement :
 - Si $d > 1,635$ alors $\Rightarrow [(d-1,634) * 1000) * 0,0052 * \text{volume total du mélange}] * 1000 = \text{g H}_2\text{SO}_4 \text{ à ajouter}$
 - Si $d < 1,633$ alors $\Rightarrow [((1,634-d) * 1000) * 0,0021 * \text{volume total du mélange}] * 1000 = \text{g glace à ajouter}$
- Ramener la température du mélange à 20°C puis reprendre la densité

2. Contraintes de la méthode

Echantillons homogènes broyés à **0,75 mm**

Remplissage et pesée des échantillons sans salissure extérieure du sac téflon

Préparation de l'acide sulfurique 72%, $d = 1,634$ très contraignante

Dosage sur quatre jours minimum

Les échantillons porc sont à peser en double

Les fèces porcs doivent être délipidées obligatoirement

3. Contenu du mode opératoire

Ne pas oublier de créer :

- dans le répertoire FIBERSAC le sous répertoire portant le N° d'Expérience
- et le deuxième sous répertoire portant le N° de la série :
- **P 120 avec le premier et le dernier code labo** (P120-A19120-A19142)

Et ce pour toutes les séries.

1. MODE OPERATOIRE pour les fourrages :

Préparation des sachets et des échantillons

- A. Après séchage des sachets à l'étuve **103°C**, 120 mn mini pré numérotés, avec un feutre fin permanent indélébile aux solvants, (référence BIC 1445)
- B. Peser sur un pré tabulé Excel ayant le logiciel de pesée METTLER.
La touche **F2** pour valider le poids.
 - a. Opérer par série de 24 sachets vides et par pesées simples sans tare ; le nom du fichier doit être celui du dernier numéro de la série de 24 sachets ; exemple : n° de sachets de 97 à 120, le fichier s'appellera P 120 VP, VP pour série vide et pleine de 97 à 120.
- C. Tous les 984 sachets, on change la lettre qui précède le dernier n° de la série ; soit 41 séries de 24 sachets, on arrive jusqu'à 984 sachets et la lettre change selon l'ordre alphabétique. Ex : après P 984, on passera à Q 24 (1ère série de Q).
 - a. Introduire et peser environ 0,47 g à 0,52 g d'échantillons, directement dans le sachet après tare.
 - b. Les deux derniers sachets de chaque série sont remplis avec du témoin sorgho S3
 - c. Puis dans la foulée fermer en soudant les sachets à 3 mm du bord (bord compris) avec la thermo soudeuse HUMEAU en réglant le thermostat sur 5,2 de manière

uniforme, polymérisation recto verso en une seule soudure, (toujours respecter le rapport substrat/surface d'échange).

D. ! Les sachets doivent rester emprisonnés en permanence dans des sacs plastiques de stockage.

Hydrolyse N.D.S. fourrage

A. Etaler uniformément l'échantillon à l'intérieur du sachet pour permettre une meilleure attaque des solutions et une meilleure filtration.

- a. Placer les **24 sachets** remplis avec échantillon et soudés sur le support plastique en veillant à ce que les sachets ne soient pas superposés mais décalés les uns par rapport aux autres.
- b. Introduire le support plastique **24 sachets** G dans le vase de digestion S.
- c. Mettre environ 2.0 litres de solution N.D.S. ou A.D.S. dans le vase de digestion S en ayant vérifié que la vanne F soit fermée.
- d. Allumer l'appareil avec l'interrupteur D1 ; Le **voyant vert** s'allume.
- e. Enclencher les 2 boutons Agitation (AGITATE A) et Chauffage (HEAT A), en réglant sur 100°C, attendre la stabilisation à 100°C effectifs, environ 15mn).
- f. Mettre en route la minuterie manuellement sur 1 heure pour cela :
 - Se placer sur la minuterie en appuyant sur l'un des boutons T1-T2-T3 ou T4
 - La remise à 0 se fait en appuyant sur le bouton C (Clear)
 - Appuyer sur le bouton H pour faire avancer les Heures et le bouton M pour les minutes.
 - Lorsque la température désirée est atteinte, appuyer sur le bouton START/STOP pour déclencher la minuterie.
 - Quand le minuteur atteint « 00 M 00 S », l'alarme se déclenche pendant 1 minute, pour l'éteindre appuyer sur le bouton START/STOP
 - Après arrêt de l'alarme, le bouton Marche/Arrêt permet de rappeler le temps préréglé de la minuterie.
- g. Fermer le couvercle **H** en ayant pris soin d'ajuster le ressort sur le support de sachets.
- h. **! Ne pas trop serrer le couvercle pour ne pas endommager le joint.**
- i. Pendant la digestion, préparer **la bouilloire** de 1.7 litres d'eau distillée.
- j. **A la fin de l'hydrolyse.**
Couper l'agitation et le chauffage avec les boutons AGITATE A et HEAT A.
- k. Ouvrir lentement la vanne de vidange F et vidanger les solutions avant d'ouvrir le couvercle afin de faire chuter la pression dans le digesteur.
- l. **Après vidange du vase, ouvrir le couvercle H et rincer les échantillons avec environ 1,7 litres d'eau chaude provenant de la bouilloire. Relevez la température de l'eau de rinçage sur le cahier FIBRES. Refermer le couvercle H et agiter pendant 5 mn.**
- m. Répéter l'opération 4 fois Rinçages N°1, 2, 3, 4
- n. **A la fin de chaque rinçage.**
Couper l'agitation et le chauffage avec les boutons AGITATE A et HEAT A.
Ne jamais laisser le chauffage sans liquide dans le vase
- o. Enlever les sachets du support

- p. Placer les sachets dans le panier à salade et faire 20 tours sous courant eau chaude.
- q. Essorer les sacs en comptant 20 tours pour enlever l'excès d'eau
- r. Puis arroser copieusement avec de l'acétone
- s. Afin d'accélérer le séchage et éviter des risques d'explosion après dans l'étuve, essorer rapidement à nouveau 30 tours.
- t. Ranger les sachets dans l'ordre dans une barquette en aluminium
- u. Remplir une fiche portant
 - a. La date et le nom de l'analyse (N.D.F. ou A. D.F),
 - b. Le n° de la série,
 - c. Le n° de l'expérience, attribué en donnant les initiales du chercheur, suivies des 2 derniers chiffres de l'année en cours, suivis du n° du protocole HA0001, MB0001...
- v. Sécher les sachets à l'étuve à 103°C pendant une nuit.
- w. Après l'étuve, les mettre 30 mn dans un dessiccateur pour le refroidissement.
 - a. Durant ce temps, préparer le fichier comme suit
 - b. Retourner dans le fichier initial
 - c. Ajouter après VP, (**N** pour une N.D.F.), notre fichier se termine donc par **VPN**.
 - d. Ajouter après VPN, (**A** pour une A.D.S.), notre fichier se termine ainsi par **VPNA**
 - e. *Ex : après une hydrolyse N.D.F. pour la série P 120 VP, le fichier portera le nom P 120 VPN.*
 - f. *après une hydrolyse A.D.F. pour la série P 120 VPN, le fichier portera le nom P 120 VPNA*

Pour les échantillons riches en amidon et lipides

Elimination des lipides

- Mettre les sachets dans un FLACON fermé de 1000 ml contenant 250 ml d'acétone.
- Agiter par retournement pendant 5 min.
- Après les 5 mn verser le résidu d'acétone dans un flacon de déchet
- Mettre de l'eau chaude dans le flacon.
- Verser tous les sachets dans l'essoreuse à salade percée y introduire le tuyau d'eau chaude, faire 20 tours au maximum.
- Enlever le tuyau d'eau chaude et faire 20 tours pour essorer avant de passer à l'hydrolyse NDFE

1. Hydrolyse NDFE riche en amidon ANKOM 2000

a. Enzymatique avec amylase dans le programme (Cellulose adaptée)

- 75 min digestion en milieu acide, remplacée par NDFE, couvercle fermé.
- Placer le panier de sacs dans le Fibersac plus 4 mL amylase Thermostable.
- Suppression de digestion en milieu basique,
- 3 rinçages de 5 min, couvercle du vase fermé dont,
- 2 rinçages en automatique avec ajout de 4mL d'amylase Thermostable par rinçage dans le vase (Le distributeur réservoir de 300 mL sera rempli avec 8mL d'amylase Thermostable QSP 375 mL H2O distillée)

- **1 rinçage uniquement avec eau. Pas de rinçages basiques**
 - b. Hydrolyse de l'amidon ANKOM 200**
 - Placer le panier de sacs dans le Fibersac plus **4 mL amylase Thermostable**.
 - Effectuer les deux premiers rinçages avec une eau chaude additionnée d'alpha amylase thermostable (4 ml d'alpha amylase pour 2 litres d'eau).
 - Le troisième rinçage sera effectué avec de l'eau chaude uniquement.
 - c. Mode opératoire commun aux deux appareils 2000 et 200**
 - Les sachets seront essorés (3 ou 4 tours)
 - Placer ensuite dans un bécher contenant 250 ml d'acétone (agiter pendant 5 min).
 - Jeter l'acétone dans le récipient déchet et mettre les sachets dans l'essoreuse
 - Faire 20 tours avec eau chaude directement sous le robinet
 - Puis 20 tours sans eau.
 - Arroser copieusement avec de l'acétone
 - Afin d'accélérer le séchage et éviter des risques d'explosion après dans l'étuve, essorer rapidement à nouveau 30 tours.
 - Ranger les sachets dans une barquette en aluminium remplir une fiche d'identification et placer une nuit dans l'étuve à 103°C.

Hydrolyse A. D. S.

Mode opératoire identique à NDS fourrage

Détermination de la LIGNINE

- x. Mettre pour une série de **24 sachets**, 380 ml d'acide sulfurique à 72% Normalité 24N, d = 1,634 à 20°C dans un bécher transparent de 2 litres.
- y. ! Vérifier que la densité est bien de 1,634 à la température obligatoire de 20°C, avant toute manipulation sinon, AJUSTER
- z. Placer les **24 sachets** dans l'acide
- aa. Avec une bouteille de 1,5L remplie d'eau immerger les sachets et les retourner pendant 5 min
- bb. Placer un bécher de 1 L avec 300 ml d'eau dans celui de 2 L pour immerger les sachets dans l'acide.
- cc. Agiter les sachets après 5 mn en agitant le bécher de 1 L de haut en bas, puis, toutes les 20 mn (en tournoyant assez rapidement ce qui entraîne les sachets et force l'acide à pénétrer dans les vides de mailles) durée 3 heures.
- dd. Après les 3 heures, retirer les sachets (le résidu d'acide est versé dans un bidon déchet)
- ee. De l'eau chaude est versée sur les sachets dans le bécher puis les sachets sont renversés dans le panier à salade (opération à répéter 4 fois)
- ff. Les rincer à l'eau chaude sous le robinet pendant environ 1 à 2 mn dans un panier à salade en tournant très lentement. (Élimination du surplus d'acide)
- gg. Les sachets sont ensuite rangés dans le portoir du Fibersac
- hh. Les rincer avec de l'eau distillée chaude pendant **3 fois 5 mn** en enclenchant l'agitation. Relevez la température de l'eau de rinçage sur le cahier FIBRES. Rinçage N° 1, 2, 3
- ii. Puis passer à l'essoreuse pendant 20 tours sous le robinet d'eau chaude.
- jj. Remettre les sachets dans le FIBERSAC pour 2 rinçages supplémentaires avec eau chaude pendant 2 fois 5 mn.
- kk. Enlever les sachets du support.
- ll. Faire 20 tours avec eau chaude directement sous le robinet
- mm. Puis 20 tours sans eau.
- nn. Puis arroser copieusement avec de l'acétone

- oo. Afin d'accélérer le séchage et éviter des risques d'explosion après dans l'étuve, essorer rapidement à nouveau 30 tours
- pp. Ranger les sachets dans une barquette en aluminium remplir une fiche d'identification et placer une nuit dans l'étuve à 103°C.

2. Remplir une fiche portant :

- a. La date et le nom de l'analyse A.D.**L.**,
- b. Le n° de la série,
- c. Le n° de l'expérience, attribué en donnant les initiales du chercheur, suivies des 2 derniers chiffres de l'année en cours, suivis du n° du protocole.
- d. Placer le portoir avec les sachets dans la barquette.
- e. Les sécher à l'étuve à 103°C pendant une nuit.
- f. Après l'étuve, les mettre dans un dessiccateur, durée 30 mn.
- g. Durant ce temps, préparer le fichier comme suit :
- h. Retourner dans le fichier initial,
- i. Ajouter après VPNA la lettre **L**,
- j. *Ex : la série après A.D.F. s'appelant P 120 VPNA, Sera notée P 120 **VPNAL** pour l'A.D.L.*
- k. Procéder à la pesée finale.

3. Calcul

Pour effectuer le calcul, il faut avoir déterminer au préalable la teneur en humidité résiduelle de l'échantillon (MS%). Les formules utilisées pour la teneur en NDF, ADF, ADL sont les suivantes :

NDF % : (Poids résidu NDF- poids sachet vide) / poids sachet plein/ MS x 10 000

ADF % : (Poids résidu ADF- poids sachet vide) / poids sachet plein/ MS x 10 000

ADL % : (Poids résidu ADL - poids sachet vide) / poids sachet plein/ MS x 10 000

Le pré tabulé Excel utilisé affiche instantanément les valeurs obtenues.

Avant de transmettre les résultats, il faut s'assurer que la moyenne, l'écartype et le coefficient de variation des échantillons témoins S3 est convenable. (ANNEXE BILAN S3 pour 2004-2005, à répéter pour chaque année).

ANNEXE 12 : Dosage de l'azote avec l'analyseur élémentaire RapidN Cube (Elementar) (méthode Dumas)

Rédigé par : Tatiana SILOU	Code :	29 pages
Revu par :	N° Version : 1	
Validé par	Emis le : 20/12/12	
Destinataires : tt agent laboratoire	Modifiée le :	

Objet et domaine d'application

Cette instruction décrit de manière non exhaustive les modalités de mise en route et de fonctionnement en routine de l'analyseur RapidN Cube pour le dosage de l'azote.

Documents de référence

- Notes d'utilisation RapidN Cube, elementar
- Condensed Manuel rapid N cube, elementar
- Nitrogen Analyzer Rapid N cube operating instructions© Elementar Analysensysteme GmbH

Liste de diffusion et si nécessaire niveau de confidentialité

Agents du laboratoire de l'URZ

Hygiène et sécurité

Pour travailler sur cet appareil, il faut obligatoirement porter une blouse en coton, des chaussures de sécurité, et avoir les cheveux attachés s'ils sont longs.

Les risques liés à l'utilisation de cet appareil sont les suivants :

- **Risque de brûlure.** En fonctionnement, les fours à l'intérieur de l'appareil chauffent certains composants à de très hautes températures (autour des 1000°C). Même après avoir éteint l'appareil, certains composants restent chauds pendant une longue période.

- Pour toute intervention sur ces composants chauds, se munir des gants de protection contre la chaleur fournis avec l'appareil.

- **Risque de coupure.** Certains composants sont en quartz (tube de réduction, pont en quartz,) et risquent de se casser.

- Pour ramasser les débris de verre, attendre leur refroidissement et se munir des gants en cuir fournis avec l'appareil.

- **Risque d'électrocution.** Il est possible de subir une électrocution si l'intervention sur les parties électriques n'est pas faite correctement.

- Ne jamais utiliser de liquide ou des sprays pour test de fuite à proximité des composants électriques.

Pour tout dysfonctionnement d'origine électrique, contacter le service après vente d'Elementar. Suivre attentivement et exactement les instructions données afin d'éviter toutes blessures causées par une électrocution.

- **Risque d'explosion.** La combustion d'une grande quantité de certaines substances peut provoquer une explosion. Ces substances sont :

- Des produits chimiques corrosifs tels que des solutions acides ou basiques
- Des solvants organiques
- Des explosifs
- Des substances qui développent des mélanges gazeux toxiques ou explosifs
- Il faut se protéger avant tout contact avec des substances dangereuses et diminuer la quantité de ces substances à un niveau sûr.

- **Risque chimique.** La maintenance de certains composants de l'appareil nécessite l'emploi de produits chimiques.

- Toujours se référer aux fiches de sécurité des produits chimiques utilisés.
- Porter des lunettes de sécurité et des gants lors de l'utilisation du Sicapent® (phosphore pentoxyde). **! Risque de brûlure**

Principe de la méthode

Le principe de l'analyse consiste en la combustion de l'échantillon dans un four à haute température et dans un milieu riche en oxygène. Les gaz issus de la combustion sont alors séparés, piégés chimiquement et purifiés. Les NOx sont réduits en N₂ sur du tungstène métallique et le flux gazeux est dirigé vers le détecteur thermo-conductif. Le détecteur thermo-conductif fonctionne sur le principe d'une différence de conductivité thermique entre deux flux gazeux. Dans une première chambre s'écoule le flux gazeux de référence (CO₂). Dans la seconde, s'écoule le mélange gazeux CO₂ + N₂. La différence de conductivité entre les deux gaz est alors intégrée et quantifiée.

Matériels nécessaires

- Unité informatique
- Logiciel RapidN Cube
- Analyseur élémentaire RapidN Cube
- Balance électronique
- Presse pour échantillon solide

- Presse pour échantillon liquide sous flux gazeux

Réactifs

- CO₂
- O₂

Annexe 13 : Guide d'entretien

Présentation des enquêteurs (sciences sociales, pas de spécialité élevage, transmission de la recherche)

INSSICCA est un programme de recherche pluridisciplinaire (zootechnie, économie, sciences sociales) qui a commencé à la fin de l'année 2016. Il a vu le jour dans le contexte de forte pollution de certains sols guadeloupéens et martiniquais, et ce pour de nombreuses années. Il ne sera pas techniquement possible de nettoyer ces sols, ce qui demande aux acteurs du monde agricole en particulier, de par le cœur de leur métier, d'adapter leurs pratiques à cette contrainte extérieure avec laquelle ils doivent composer. La visée de ce projet est donc d'informer, d'accompagner et de co-construire avec les agriculteurs, et tout particulièrement les éleveurs, de nouvelles pratiques visant à leur assurer des trajectoires de production viables avec des animaux sains. Pour cela, nous avons décidé de recueillir les propos d'un échantillon composé d'une cinquantaine d'éleveurs, représentatifs de la diversité des systèmes de production agricole aux Antilles françaises afin d'identifier les freins et les leviers à l'adoption de ces nouvelles pratiques. Si vous donnez votre accord, cet entretien sera enregistré. Les bandes sonores seront accessibles sous conditions, à un nombre restreint de chercheurs intervenant dans ce projet à la recherche et auront pour objectif de compléter les notes écrites que nous prendrons. Les résultats seront utilisés de façon anonyme. De plus, afin de mettre en valeur votre travail et de montrer la réalité dans laquelle vous évoluez, nous aimerions si vous l'acceptez prendre quelques photos de vous et de vos animaux et de l'environnement dans lequel ils évoluent (pâturage, bâtiments). Elles fourniront des éléments complémentaires à l'entretien que nous vous enverrons. Elles ne seront pas utilisées dans un autre cadre. Cet entretien se déroulera en cinq temps durant lesquels vous êtes libres de vous exprimer comme cela vient. Nous aimerions tout d'abord vous connaître, puis que vous nous appreniez la manière dont vous élevez vos bêtes. Enfin, nous pourrions échanger sur le fait de comprendre si vos pratiques ont évolué au fil du temps.

Date :

Durée de l'entretien :

Enregistré : OUI / NON

Identité de l'enquêté (e) :

Localité:

Email :

Téléphone :

Fonction :

Exercée depuis :

Fonction antérieure :

Pluriactif : oui non

Si oui, quelle(s) autre (s) activité(s) :

Elevage :

Particularités :

Caractéristiques géophysiques de l'exploitation :

typologie (pente, fourrés, forêt, couvert végétal semé ou spontané etc...)

1) Qui êtes-vous?

Comment est-venu pour vous ce métier d'éleveur ? (filiation, vocation, ...)

Depuis quand l'exercez-vous ?

Sur cette même exploitation ? (terre familiale, achat, location....) Vous a-t-on donné des informations particulières sur la terre qui compose cette exploitation ?

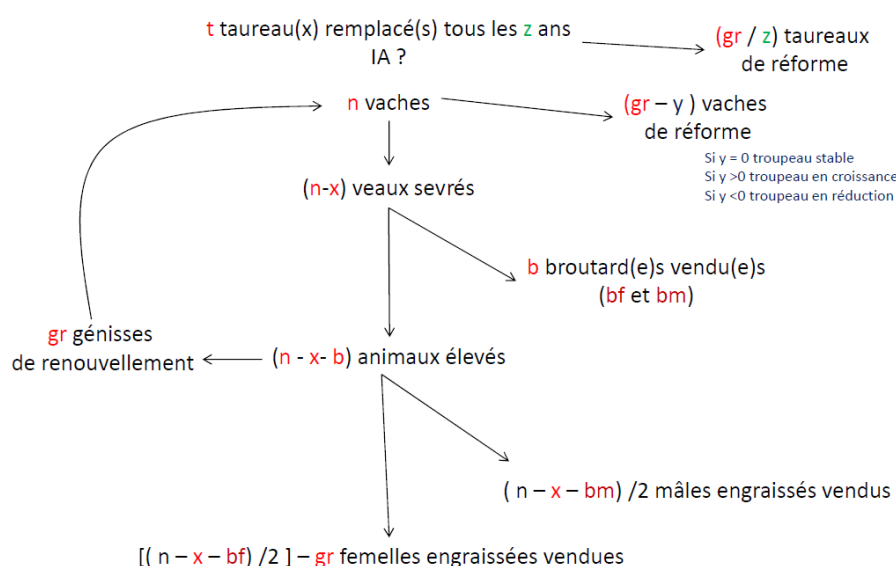
Habitez-vous à proximité de l'endroit où vous travaillez ?

Comment s'organise une journée de travail, pour vous ?

2) Le système d'élevage et la conduite des animaux

Composition et fonctionnement du troupeau bovin

Schéma de fonctionnement annuel du troupeau



Pour chaque catégorie pertinente, achat possible, formalisé par nA ou bA ou grA ...

pour chaque animal vendu connaître :
l'âge moyen

le poids vif (si venu vivant) ou le poids de carcasse (si abattu)
 le prix au kg (vif ou carcasse) et compléter par le prix à la pièce (test de cohérence)
 à qui il a été vendu et pourquoi ? (cela a pu changer pour les éleveurs touchés par la

CLD)

si animaux achetés, même questions

+ "photo instantanée" du troupeau à la date de la visite (test de cohérence)

De combien de bovins se compose-t-il ? Où les avez-vous achetés ?

Quel âge ont en moyenne les bovins ?

Abreuvement

Et pour l'eau ? Leur donnez-vous celle de la rivière, flaques, mares, ravines, eau agricole ou de l'eau de récupération ?

Alimentation

Que mangent vos bœufs ?

les bovins sont ils au piquet ?

si oui, L chaîne, déplacé tous les ...jours, complémenté ou pas, affouragé ou pas
 si non, vérifier que = pâturage dans parcelles clôturées

y a t il des aliments achetés ?

fourrage ?

concentré ?

si oui quelle quantité, à qui et à quel prix unitaire ?

pourquoi ?

pour les aliments auto-produits : Comment entretenez-vous le pâturage, en fonction des saisons ?

récolte en vert et apporté aux animaux

pâturage

sur parcelles en propre ou louées de manière mérenne

sur autres (bord de route, jachère occasionnelle..)

quelle gestion du parcellaire ?

Etes-vous amené à travailler avec d'autres personnes ? (collègues éleveurs, main d'œuvre, SICA, institutionnels, « engraisseurs », amis, famille,)

3. Caractéristiques géophysiques de l'exploitation agricole et gestion du parcellaire

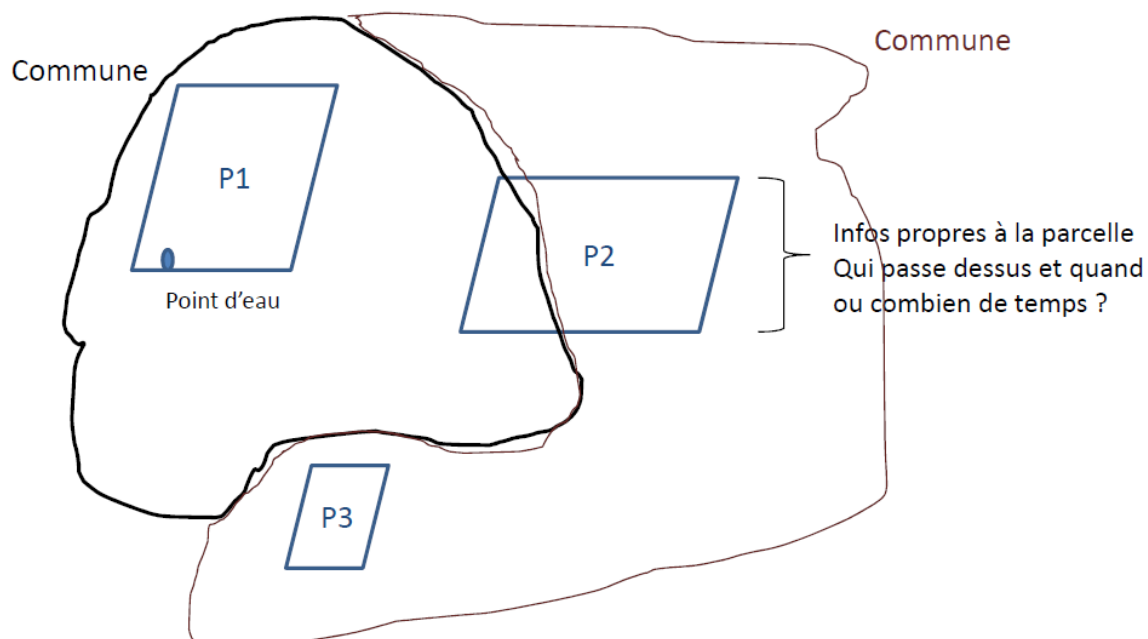
Description

lui faire redessiner sur une carte de la commune (avec ou non le découpage parcellaire fourni si possible) avec les parcelles ou zones exploitées

pour chaque parcelle décrire rapidement sa typologie (pente, fourrés, forêt, couvert végétal semé ou spontané etc...)

Mise en mouvement

Organisation et gestion du parcellaire



qui du troupeau est où et à quel moment ? (saison, dates plus précises...) et pourquoi ?

surveillance (vol, mise-bas... => proximité ou au contraire parcelles peu accessibles..)

pousse de l'herbe

gestion du parasitisme

présence d'un point d'eau....

Autres animaux présents sur l'exploitation

effectifs par espèce (carpin/ovin/porcin/volaille), voire race (n femelles reproductrices, et n total) vente ou autoconsommation

Autres spéculations agricoles

Associez-vous d'autres pratiques culturelles, à l'élevage ? // Produisez-vous autre chose que des animaux ? Si oui, que plantez-vous ?

4. Vision économique et sociale du système d'élevage

Consommez-vous la viande que vous produisez ?

Comment vos animaux vous assurent-ils un revenu ? (i.e., quelle stratégie économique, vente de veaux, de viande, de bêtes adultes) / Vendez-vous les animaux ? A quel âge ? A qui ?

Auprès de quels destinataires commercialisez-vous votre viande ? (SICA, boucherie, clients directs, ...)

Comment se passe la récupération de la viande, et des carcasses ?

Parvenez-vous à subvenir à vos besoins par ces ventes ?

Si vous produisez des cultures, dans quelle mesure est-ce qu'elles complètent votre revenu ? (quelle % de votre revenu ?)

Les conduisez-vous vous-mêmes à l'abattoir ? A quel âge ?

Comment se passe leur fin de vie ? (i.e. : éventuellement, confidence de l'abattage clandestin....)

5) Evolution de la pratique

Avez-vous modifié, au fil du temps, votre façon de faire de l'élevage ?

Pourquoi ?

Et comment ?

Avez-vous été orienté dans ce sens ? (i.e. être le plus rentable possible, conseil, formation, souci écologique, souci du bien-être animal, souci de produire de la bonne viande)

Ce changement de stratégie a-t-il été efficace ?

Qu'est-ce que ça a changé dans votre fonctionnement ?

Par rapport à votre vision, quelles actions devraient-être mises en place pour permettre aux éleveurs de bovins de produire mieux et plus ?

Qui doit les mettre en place?

Vous sentez-vous accompagné par les institutions, les organismes agricoles ? La recherche ? Pourquoi ?

Comment pensez-vous que votre métier va évoluer ?

Comment voyez-vous l'avenir de l'élevage ?

Fin de l'entretien : Proposer à l'éleveur de participer à un travail collectif avec d'autres éleveurs et acteurs du milieu agricole afin de permettre la compréhension des processus biologiques, physiques et chimiques relatifs à la contamination des animaux et quelles nouvelles pratiques adopter. L'informer que dans les jours qui suivent lui seront transmises les photographies prises ainsi que le déroulé de l'entretien.

Index

Bovins Créoles, <i>Bos Taurus</i>	48
<i>Brachiaria</i>	8, 19, 49, 54
<i>Cosmopolites sordidus</i> , Charançon du bananier	2, 8, 10, 111
<i>Cyperus rotundus</i>	54
<i>Dichanthium annulatum</i>	54
<i>Dichanthium sp.</i>	19
<i>Digitaria decumbens</i> , Pangola	19, 54
<i>Leptinotarsa decemlineata</i> , Doryphore de la pomme de terre	8, 24
<i>Acromyrmex octospinosus</i> , Fourmis manioc	24
<i>Gallus gallus</i> , Poulet de chair, poule pondeuse	8, 15
<i>Mimosa pudica</i>	54
<i>Panicum maximum</i>	54
<i>Paspalum Fimbriatum</i>	54
<i>Pennisetum purpureum</i> , Merker	54
<i>Phyllocoptruta oleivora</i> , Phytote des agrumes	24

Résumé

Le chlordécone (CLD) est un produit phytosanitaire largement utilisé dans les bananeraies entre 1972 et 1993 afin de lutter contre le charançon du bananier *Cosmopolites sordidus*. Interdit en France en 1993, sa présence dans les biotopes Antillais a été mise en évidence en 1999 suite à la découverte de fortes concentrations dans l'eau de consommation. En 2005 l'AFSSA a publié son rapport dans lequel elle fait état de la contamination des denrées alimentaires par le CLD. De l'utilisation massive de ce pesticide dans les Antilles françaises, en résulte une pollution à long terme des sols. Le sol constitue donc la principale voie de contamination et de transfert des polluants vers les produits animaux. Plusieurs études ont démontré que les animaux d'élevage pouvaient être exposés à un risque d'ingestion volontaire ou involontaire d'une quantité non négligeable de sol. Le mode d'élevage au piquet largement pratiqué en Guadeloupe est susceptible d'influencer cette ingestion de sol. Il est donc apparu nécessaire de quantifier la quantité de sol ingéré par des bovins Créoles au piquet dans différentes conditions de pâturage. Douze taurillons Créoles ont été conduits dans un système individuel de pâturage au piquet avec un déplacement journalier sur une nouvelle aire à pâturer. Le dispositif expérimental a consisté en un cross-over avec trois modalités d'offre fourragère (BAS, 100g MS/kg PM/j ; HAUT, 150g MS/kg PM/j ; ADLIB, 300g MS/kg PM/j) croisées avec deux modalités d'humidité du sol (SEC, conditions du Carême, potentiel matriciel > 40 ; HUM, conditions de l'hiver antillais, potentiel matriciel < 19). L'aire de pâturage individuelle spécifique est calculée quotidiennement en fonction de la quantité d'herbe à offrir et de la biomasse disponible. La surface allouée est modulée grâce à la longueur de chaîne. Les trois offres proposées ont induit une surface de pâturage journalière différente ($P < 0,001$) (BAS : 23,28 m², HAUT : 34,51 m² et AD LIB : 69,16 m²). Ces différentes surfaces ont impliqué des niveaux d'ingestion de matière sèche différents avec une ingestion significativement plus faible ($P < 0,05$) pour la modalité BAS (BAS : 1,59 kg MS/animal/j, HAUT : 2,09 kg MS/animal/j et AD LIB : 2,33 kg MS/animal/j). La digestibilité de la matière organique est également significativement plus faible pour la modalité BAS (BAS : 0,67, HAUT : 0,73 et AD LIB : 0,73). L'ingestion journalière de sol par animal fut mesurée grâce à la teneur en titane des fèces, le titane étant un marqueur du sol ingéré en raison de son fort ratio de concentration dans le sol vs dans l'herbe. L'offre BAS a induite une pression de pâturage plus forte et en résulte une proportion de sol ingéré significativement plus haute que pour la modalité AD LIB (BAS : 1,34%, HAUT : 1,12% et AD LIB : 0,70%). Les quantités de sol ingéré des modalités BAS et HAUT sont significativement plus hautes que celle de la modalité AD LIB (BAS : 21,04 g / 100 kg PV, HAUT : 20,07 g / 100 kg PV et AD LIB : 14,17 g / 100 kg de PV). En effet, les modalités BAS et HAUT provoquent des pressions de pâturage plus fortes que pour la modalité AD LIB et donc un risque d'ingestion de sol plus élevé.

Mots-clés : chlordécone, ingestion de sol, élevage au piquet, humidité, offre fourragère, pâturage, taurillons, Antilles

Summary

Chlordecone (CLD) is a phytosanitary product widely used in banana plantations between 1972 and 1993 to control the banana weevil *Cosmopolites sordidus*. Banned in France in 1993, its presence in the Caribbean biotopes was highlighted in 1999 following the discovery of high concentrations in drinking water. In 2005, AFSSA published its report on the status of food contamination by the CLD. The massive use of pesticides in the French West Indies has resulted in long-term soil pollution. Soil is the main route of contamination and transfer of pollutants to animal products. Several studies have shown that livestock can be exposed to a risk of intentional or unintentional ingestion of a significant amount of soil. The tethered rearing widely practiced in Guadeloupe, prone to influence this ingestion of soil. Thus, it appears necessary to quantify the amount of ingested soil by the Creole bulls at tethering under different soil humidity conditions and grazing conditions. Twelve Creole bulls were conducted in an individual grazing system to the tether with a daily grazing area. The experimental design consisted of a cross-over with three different daily herbage allowances (BAS, 100g DM / kg BW / d, HAUT, 150g DM / kg BW / d, ADLIB, 300g DM / kg BW / d) crossed with two levels of soil humidity (SEC, lent conditions, matrix potential > 40, HUM, Caribbean winter conditions, matrix potential < 19). The specific individual grazing area is calculated daily according to the quantity of grass offered and the available biomass. The allocated area is modulated by the chain length. The three offers proposed resulted in a different daily grazing area ($P < 0,001$) (BAS: 23,28 m², HAUT: 34,51 m² and AD LIB: 69,16 m²). These different surfaces involved different levels of dry matter intake with a significantly lower ingestion ($P < 0,05$) for the BAS modality (BAS: 1,59 kg DM / animal / d, HAUT: 2,09 kg DM / animal / j and AD LIB: 2,33 kg DM / animal / day). The organic matter digestibility is also significantly lower for the BAS modality (BAS: 0,67, HAUT: 0,73 and AD LIB: 0,73). The daily intake of soil per animal was measured by the titanium content of the faeces, with titanium being a soil marker ingested due to its high concentration ratio in soil vs grass. The BAS offer induced a higher grazing pressure and resulted in a significantly higher proportion of soil intake than for AD LIB (BAS 1,34%, HIGH 1,12% and AD LIB 0,70 %). The amounts of soil ingested in the BAS and HIGH modalities are significantly higher than those of the AD LIB modality (BAS: 21,04 g / 100 kg BW, HIGH: 20,07 g / 100 kg BW and AD LIB: 14,17 g / 100 kg BW). Indeed, the BAS and HAUT modalities cause higher grazing pressures than for the AD LIB modality and therefore a higher risk of soil ingestion.

Keywords: chlordecone, beef cattle, grazing, humidity, pasture allowance, soil, soil intake, tethering, West indies

Resumen

La clordecona (CLD) es un producto fitosanitario ampliamente utilizado en plantaciones de plátanos entre 1972 y 1993 con el fin de luchar contra el gorgojo del banano *Cosmopolita sordidas*. Prohibido en Francia en 1993, su presencia en los biotopos de los caribeños se destacó en 1999 como consecuencia del descubrimiento de altas concentraciones en el agua potable. En 2005, la AFSSA publicó un informe en el que se reportó la contaminación de los alimentos por el CLD. Desde el uso masivo de este plaguicida en las Antillas francesas, el resultado es una contaminación del suelo a largo plazo. El suelo es la principal vía de contaminación y de transferencia de contaminantes hacia los productos animales. Varios estudios han demostrado que los animales de granja pueden estar expuestos, de acuerdo con varios factores, la ingestión voluntaria o involuntaria de una cantidad significativa de suelo. El sistema de cría de atado ampliamente practicado en Guadalupe es probable de influenciar la ingestión de suelo. Parece necesario cuantificar la cantidad de suelo ingerido por el ganado Criollo atados en condiciones de suelo húmedo y pastos diferentes. El dispositivo experimental consiste en un esquema cruzado con dos niveles de humedad y 3 niveles de oferta de forraje. Doce terneros Criolla se llevaron a cabo en un solo sistema de pastoreo de atado con un desplazamiento de la zona de pastos diaria. Para la completa experiencia cada animal recibió 3 diferentes niveles de oferta de forraje: BAS (100g MS/kg PM/día), HAUT (150g MS/kg PM/día), ADLIB (300g MS/kg PM/día) de acuerdo con dos niveles de humedad de suelo: modalidad HUM (potencial matricial < 19) y modalidad SEC (potencial matricial > 40). El área de pastoreo individuo específico se calcula cada día basa en la alta hierba (HH) y de oferta de forraje. El área asignada es modulada por la longitud de la cadena. Los tres niveles propuestos ofrecen diferentes diaria indujo una zona de pastoreo ($P < 0,001$) (BAS: 23,28 m², HAUT: 34,51 m² y AD LIB: 69,16 m²). Estas superficies han implicado diferentes niveles de ingesta de materia seca con un consumo significativamente menor de alimentación ($P < 0,05$) para el modo BAS (BAS: 1,59 kg de MS / d, HAUT: 2,09 kg de MS / d y AD LIB: 2,33 kg de MS / d). La digestibilidad de la materia orgánica es también significativamente menor para el modo BAS (BAS: 0,67, HAUT: 0,73 y AD LIB: 0,73). ingestión de suelo por los animales y después de días se midió por la cantidad de titanio encuentra en las heces, de titanio de ser un marcador de suelo. Los BAS ofertas ha inducido una mayor presión de pastoreo y los resultados en una proporción de suelo ingerido significativamente mayor que la modalidad AD LIB (BAS: 1,34%, HAUT: 1,12% y AD LIB: 0,70%). Al mirar la cantidad de suelo ingerido se observa que la cantidad de suelo ingerido a las disposiciones BAS y HAUT son significativamente mayor que la de la modalidad de AD LIB (BAS: 21,04 g / 100 kg PV, HAUT: 20,07 g / 100 kg PV y AD LIB: 14,17 g / 100 kg de PV). De hecho, los términos y causar mayores presiones de pastoreo BAS y HAUT para la modalidad AD LIB y por lo tanto un riesgo de ingestión de suelo superior.

Palabras clave: Antillas, atadura, Clordecona, ganado bovino, ingestión de suelo, humedad, oferta de forraje, pastoreo, suelo, tasa de almacenamiento