

# TABLE DES MATIERES

DEDICACES .....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
TABLE DES MATIERES .....	iv
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES .....	vii
LISTE DES EQUATIONS.....	ix
LISTE DES FIGURES .....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
RÉSUMÉ.....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCTION.....	1
1 Synthèse bibliographique.....	4
1.1 Méthodes d'estimation des PRO mises en œuvre .....	4
1.1.1 PRO issus des activités agricoles .....	5
1.1.1.1 PRO issus des cultures.....	5
1.1.1.2 PRO issus de l'élevage .....	6
1.1.2 PRO issus des activités agro-industrielles.....	8
1.1.3 Les PRO d'origine Municipale .....	9
1.1.3.1 Les PRO issus des déchets solides ménagers .....	9
1.1.3.2 Les eaux usées de l'assainissement collectif.....	11
1.1.3.3 Matières de vidange de l'assainissement individuel.....	12
1.2 Potentiel agronomique et de biofortification .....	13
1.2.1 Potentiel agronomique.....	13
1.2.2 Potentiel de biofortification.....	14
2 Matériel et Méthodes .....	16
2.1 Présentation du milieu d'étude .....	16
2.2 Echantillonnage des ménages à enquêter .....	17
2.3 Démarche de l'estimation des PRO d'origine agricole .....	18
2.3.1 Etape 1 : Rencontre des acteurs institutionnels détenteurs de données.....	19
2.3.2 Etape 2 : les données structurelles.....	19
2.3.3 Etape 3 : Les données complémentaires .....	19
2.3.4 Etape 4 : Les données bibliographiques .....	19
2.3.5 Etape 5 : Estimation de la Quantité Brute (EQB) de PRO.....	21
2.3.6 Etape 6 : Estimation de la quantité maîtrisable de PRO .....	22
2.3.7 Etape 7 : Estimation des quantités de valorisation locale des PRO .....	22

2.3.8	Etape 8 : estimation de la quantité mobilisable de PRO d'origine agricole pour la fertilisation .....	23
2.4	Démarche d'estimation des PRO issus des activités agro-industrielles .....	23
2.5	Démarche d'estimation des PRO d'origine municipale .....	25
2.6	Prélèvement et analyse chimique des PRO .....	26
3	Résultats .....	30
3.1	Les gisements des PRO d'origine agricole mobilisables pour la biofortification des cultures.....	30
3.1.1	La production brute de biomasses résiduelles issue des cultures.....	30
3.1.2	Valorisation locale et production mobilisable de biomasses résiduelles issues des cultures.....	33
3.2	Gisement mobilisable de PRO issu de l'élevage pour la biofortification des cultures	35
3.2.1	Le cheptel de la localité de Malem Hodar.....	35
3.2.2	Les références agronomiques relatives à la production des déjections .....	36
3.2.3	Quantités Brutes de Déjection (QBD) émises sur la localité .....	37
3.2.4	Quantité de Déjections animales Maîtrisables .....	38
3.2.4.1	Valorisations locales .....	40
3.2.5	Gisement de Déjections Mobilisable pour la fertilisation dans le village de Mbarokounda .....	41
3.3	Quantité de PRO issus des activités agroindustrielles susceptibles d'être utilisé pour la fertilisation .....	42
3.3.1	Evaluation des effectifs d'abattage dans l'unité d'abattage de Malem Hodar ...	42
3.3.2	Quantité de Déchets d'Abattoir (QDA) produite dans l'abattoir de Male Hodar	43
3.4	Quantités de PRO d'origine municipale .....	44
3.5	Caractérisation et potentialité agronomique des PRO de la localité de Malem Hodar	46
3.5.1	Potentiel agronomique des PRO du village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar .....	48
3.5.2	Potentiel de biofortification en fer et zinc des PRO du Village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar .....	49
4	Discussion .....	50
4.1	Discussion de l'estimation des quantités de biomasses résiduelles.....	50
4.2	Discussion des quantités de déjections animales émises sur la localité .....	51
4.3	Discussion du potentiel agronomique et de biofortification des PRO de la localité .	52
5	Conclusion .....	54
6	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	55

7	Annexe .....	xiii
7.1	Annexe 1 : Liste des acteurs et institutions rencontrés pour l'acquisition de données nécessaires à la réalisation de l'étude .....	xiii

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES**

AA : Assainissement Amélioré

ANDS : Agence Nationale de la Démographie et de la Statistique

AO : Afrique de l'Ouest

bi : production de déjection par catégorie animale et par jour (Kg)

BV : Boues de Vidange

CDO : Demande Chimique en Oxygène

CEDEAO : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

DAPSA : Direction de l'Analyse et de la Prévision des Statistiques Agricoles

DREK : Direction Régionale de l'Elevage de Kaffrine

DSM : Déchets Solides Ménagers

Ea : Effectif abattu par an par type d'espèces (bovins, ovins et caprins) ;

Ei : Effectif d'une catégorie animale

EPA : Equivalent Poule Adulte

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

FFOM : Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères

GB : Gisements Bruts

IAA : Industries Agro-Alimentaires

Ir : Indices de résidus

MAER : Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement rural

MEPA : Ministère de l'Elevage et de la Production Animale

MES : Matières En Suspension

MO : Matière Organique

MODECOM : Méthode de Caractérisation des Ordures Ménagères

MS : Matière Sèche

N : Nombre total de tours effectués par les camions par an

Nje : Nombre de jour à l'étable

NUFs : Nombre d'Utilisateur(s) de Fosse(s) septique(s)

NULs : Nombre d'Utilisateurs de latrine(s) sèche(s)

OM : Ordures Ménagères

ONAS : Office Nationale de l'Assainissement du Sénégal

PA : Potentiel Agronomique

PB : Potentiel de Biofortification  
PED : Pays En voie de Développement  
PI : Pays Industrialisés  
PNGD : Programme National de Gestion des Déchets  
PRO : Produit Résiduaire Organique  
Q (m<sup>3</sup>/an) : Quantité de boues pompées  
QBD : Quantité Brute de Déjection  
QBP/an : Quantité de Boues Produite par an sur un territoire (m<sup>3</sup>)  
QBr : Quantité Brute de résidus de récoltes  
QDA : Quantité de Déchets Animaux  
QDM : Quantités de Déjections Maîtrisables  
QDMF : Quantité de Déjection Mobilisable pour la Fertilisation  
QMDi : Quantité Moyenne de Déchets produite par un individu d'ovin, de caprin ou de bovin  
QRMF : Quantité de Résidus de cultures Mobilisable pour la Fertilisation  
QRV : Quantité de Résidus Valorisée localement  
QSBFs : Quantité Spécifique moyenne de Boues Produites par utilisateurs sur Fosse septique  
QSBLs : Quantité Spécifique moyenne de Boues Produites par utilisateurs sur latrine sèche  
QVD : Quantité de Valorisation locale de Déjection  
r : quantité moyenne de déchets biodégradables en kilogramme produite par habitant et par année au niveau d'un territoire donné.  
Ri : Rendements spécifiques  
SDDR : Service Départemental de Développement Rural  
SEMV : Service de l'Élevage et de Médecine Vétérinaire  
STEP : Station d'Épuration  
TVL : Taux de Valorisation Local  
UBT : Unité Bétail Tropical  
UCG : Unité de Coordination de la Gestion des déchets solides  
UEMOA : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine  
UP : Unités de Productions  
V (m<sup>3</sup>) : Volume d'un camion

## **LISTE DES EQUATIONS**

Équation 1 : Calcul de la biomasse résiduelle (kg/an).....	5
Équation 2 : Calcul des quantités brutes d'effluents émises sur un territoire(kg/an) .....	7
Équation 3 : Calcul de la quantité brute de boues de vidange émise sur un territoire (m <sup>3</sup> /an).....	12
Équation 4 : Calcul de la quantité brute de boues de vidange émise sur un territoire (m <sup>3</sup> /an) .....	13
Équation 5 : Calcul de la Quantité de Déjections Maitrisable sur un territoire (kg/an) .....	22
Équation 6 : Calcul de la quantité de résidus de cultures valorisée localement (kg/an) .....	22
Équation 7 : Calcul de la Quantité de Valorisation locale de Déjections (kg/an) .....	23
Équation 8 : Calcul de la Quantité de Résidus de cultures Mobilisable pour la Fertilisation (kg/an)...	23
Équation 9 : Calcul de la Quantité de Déjection Mobilisable pour la Fertilisation (kg/an) sur un territoire.....	23
Équation 10 : Calcul de la quantité de déchets animaux (contenus digestifs) QDA produit dans un abattoir (kg/an) .....	25
Équation 11 : Calcul de la quantité de la Fraction fermentescible de OM produit sur un territoire(kg/an) .....	25
Équation 12 : Calcul de la quantité de boues de vidange produit sur un territoire (kg/an) .....	26
Équation 13 : Calcul du potentiel agronomique de GMF de la localité de Malem Hodar (kg).....	26
Équation 14 : Calcul du potentiel de biofortification de GMF de la localité de Malem Hodar (kg).....	26

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1 : Démarche de 08 étapes pour l'estimation des PRO d'origine agricole .....	19
Figure 2 : Démarche de 05 étapes pour l'estimation des PRO d'origine agroindustrielle .....	24
Figure 3 : Prélèvement des échantillons de contenus de panse dans l'abattoir de Malem Hodar .....	27
Figure 4: Une dalle de fosse.....	27
Figure 5 : Proportions des gisements bruts des résidus de cultures de la localité de Malem Hodar .....	32
Figure 6 : Effectifs bruts du cheptel de la localité de Malem Hodar 2019 .....	35
Figure 7 : Effectifs du cheptel en UBT pour le bétail de la localité de Malem Hodar 2019....	36
Figure 8 : Proportions du gisement brut de déjections animales en tonnes MS/an de la localité de Malem Hodar.....	38
Figure 9 : Proportions du gisement maitrisable de déjections animales en tonnes MS/an de la localité de Malem Hodar .....	40
Figure 10 : Chargement des fumiers de cheval sur la charrette .....	41
Figure 11 : Proportions du gisement de déjections animales mobilisables pour la fertilisation en tonnes MS/an produit par les animaux de Mbarokounda .....	42
Figure 12 : Effectifs des animaux abattus dans l'abattoir de Malem Hodar par an .....	43
Figure 13 : Gisements bruts des contenus de panse produits dans l'abattoir de Malem Hodar	43
Figure 14 : Gisement théorique de la fraction fermentescible des ordures ménagères de la localité de Malem Hodar .....	45
Figure 15 : Gisements bruts des boues de vidange produits dans la localité de Malem Hodar .....	45
Figure 16 : Teneur en matière organique des PRO de la localité de Malem Hodar.....	48

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1 : Importance numérique de l'élevage dans l'espace UEMOA et part dans l'espace CEDEAO.....	6
Tableau 2 : Effectif du cheptel du Sénégal en 2016.....	6
Tableau 3 : Caractéristiques démographiques des villages enquêtés.....	18
Tableau 4 : Indices de résidus des cultures prises en compte dans cette étude.....	20
Tableau 5 : Ratios de production de biomasse fécale produit par UBT/EPA (kg MS/j).....	21
Tableau 6 : Nombre et type d'échantillons de PRO prélevés.....	27
Tableau 7 : Production économique et quantité brute de biomasses résiduelles issues des cultures pour la campagne 2018/2019.....	31
Tableau 8 : Gisements mobilisables des résidus de cultures pour la fertilisation des cultures dans la localité de Malem Hodar (kg/an).....	34
Tableau 9 : Durée de présence des animaux à l'étable par jour.....	37
Tableau 10 : Gisement brut de déjections animales de la localité de Malem Hodar.....	37
Tableau 11 : Gisements maîtrisables de déjections animales en tonnes MS/an de la localité de Malem Hodar.....	39
Tableau 12 : Caractéristique physico-chimique des PRO de la localité de Malem Hodar.....	47
Tableau 13 : Paramètres physico-chimiques des PRO.....	48
Tableau 14 : Potentiel agronomique des PRO du village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar.....	48
Tableau 15 : Potentiel de biofortification en fer et zinc des PRO du village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar.....	49
Tableau 16 : Détails de la rencontre du 15/11/2019.....	xiii
Tableau 17 : Détails de la rencontre du 11/12/2019.....	xiii
Tableau 18 : Détails de la rencontre du 15/11/2019.....	xiii
Tableau 19 : Détails de la rencontre du 25/02/20.....	xiv
Tableau 20 : Détails de la rencontre du 26/02/2020.....	xiv
Tableau 21 : Détails de la rencontre du 02/03/2020.....	xiv
Tableau 22 : Chefs de ménage enquêtés à Mbarokounda.....	xiv
Tableau 23 : Chefs de ménage enquêtés à Taïba Mbadianène.....	xv
Tableau 24: Chefs de ménage enquêtés Diaby.....	xv
Tableau 25 Chefs de ménage enquêtés à Sagna.....	xvi
Tableau 26 : Chefs de ménage enquêtés à Malem Hodar.....	xvii

## **RÉSUMÉ**

La croissance démographique, l'évolution des modes de vie et de consommation ont engendré une intensification des systèmes de production agricole et des activités industrielles ainsi qu'une concentration et un développement urbain. Cette situation laisse en place d'importantes quantités de déchets en particulier de Produits Résiduaire Organiques (PRO). Dans certaines villes des pays en voie de développement, les PRO déversés de façon non contrôlée dans l'environnement suite au manque de systèmes adéquats liés à la mauvaise gestion et au manque de ressources financières, peuvent détruire l'équilibre des écosystèmes. L'accès aux informations est difficile et les données produites sont souvent insuffisantes pour une estimation exacte des gisements de PRO. Cette étude vise à identifier et à caractériser les gisements de produits résiduaire organiques du village de Mbarokounda dans la localité de Malem Hodar en vue de leur recyclage en tant que fertilisant sur le sol agricole du village cible de Mbarokounda. La méthodologie consiste à élaborer une démarche pour chaque type de PRO pour identifier et quantifier les gisements bruts et ceux correspondant aux gisements mobilisables pour la biofortification des cultures et à prélever des échantillons de PRO dans ces gisements pour leur caractérisation. Les résultats sont une présentation des données brutes de production de PRO des villages de Mbarokounda, Diaby, Taïba Mbadianène, Malem Hodar et Sagna. Ces résultats montrent, dans la zone d'étude, que les gisements des résidus de récoltes et des déjections animales sont les catégories de PRO les plus importantes et les plus mobilisables pour la biofortification des cultures. Le potentiel de biofortification est estimé à 9 050 kg en fer et à 65 kg en zinc dans la localité de Malem Hodar. La majorité de ces PRO ont un rapport C/N inférieur à 15 et leur pH varie de 6,97 à 8,27. Les teneurs en fer et en zinc des PRO qui ont été analysés dans cette étude sont tous inférieurs aux seuils réglementaires en vigueur par la norme NF U44-051, pour les fumiers et les composts. L'utilisation des PRO d'origine agroindustrielle et municipale dans la fertilisation pourrait être une solution de pratiques agroécologiques pour combler le déficit de PRO noté dans la fertilisation organique de la zone.

**Mots clés :** Identification, gisement, Produits Résiduaire Organiques, Mbarokounda, Malem Hodar et biofortification.

## **ABSTRACT**

Demographic growth, changes in lifestyles and consumption have led to an intensification of agricultural production systems and industrial activities as well as concentration and urban development. This situation leaves large amounts of waste in place, in particular Organic Residue Products (ORP). In some cities in developing countries, ORP discharged in an uncontrolled manner into the environment due to lack of adequate systems linked to poor management and lack of financial resources, can destroy the balance of ecosystems. Access to information is difficult and the data produced is often insufficient for an accurate estimate of ORP deposits. This study aims to identify ORP deposits in the village of Mbarokounda and in the locality of Malem Hodar (Kaffrine region) and to determine the iron and zinc contents contained in ORP for the biofortification of local crops. The methodology consists in developing an approach for each type of PRO to identify and quantify the raw deposits and those corresponding to the deposits that can be mobilized for the biofortification of crops and to take samples of ORP in these deposits for their characterization. The results are a presentation of raw ORP production data from the villages of Mbarokounda, Diaby, Taïba Mbadianène, Malem Hodar and Sagna. These results show, in the study area, that the deposits of crop residues and animal excreta are the most important categories of ORP and the most mobilized for crop biofortification. The biofortification potential is estimated at 9,050 kg in iron and 65 kg in zinc in the locality of Malem Hodar. The majority of these PRO have a C / N ratio of less than 15 and their pH ranges from 6.97 to 8.27. The iron and zinc contents of the ORPs which were analyzed in this study are all below the regulatory thresholds in force by standard NF U44-051, for manure and compost. The use of ORPs of agroindustrial and municipal origin in fertilization could be a solution of agroecological practices to fill the deficit of ORP noted in organic fertilization of the area.

Keywords: Identification, deposit, Organic Residue Products, Mbarokounda, Malem Hodar and biofortification

## INTRODUCTION

La croissance démographique, l'évolution des modes de vie et de consommation ont engendré une intensification des systèmes de production agricole et des activités industrielles ainsi qu'une concentration et un développement urbain laissant en place de grandes quantités de déchets en particulier de produits résiduels organiques (PRO) (Ngnikam & Tanawa, 2006; Gbinlo, 2011; Macauley & Ramadjita, 2015; Touré *et al.*, 2016; Maléki & Gnon, 2018). Ces PRO sont constitués de matières organiques d'origine agricole, agroindustrielle et municipale. Les déjections animales (fumier, fiente, lisier et purin) et résidus de culture (pailles et résidus ligneux) sont issus des activités agricoles. Les industries agroalimentaires produisent des déchets de biscuiterie, de brasserie, de levurerie, d'abattoir, d'industrie laitière etc. Les territoires urbanisés produisent une fraction fermentescible des ordures ménagères composante plus ou moins importante des déchets solides ménagers, des déchets verts, des matières de vidange, des graisses et des boues de station d'épuration (STEP). Ces PRO sont caractérisés par une décomposition rapide sous les climats intertropicaux et engendrent, par conséquent, des nuisances olfactives et visuelles, des pollutions de l'air (gaz à effet de serre), de l'eau et des sols (nitrates, phosphates, contaminants organiques et inorganiques, etc.), des risques sanitaires pour la santé humaine, des impacts négatifs sur les paysages et sur l'économie (Rouyat *et al.*, 2006; Lacour, 2012; Joncoux, 2014; Defo *et al.*, 2015; Kple, 2018). Dans certaines villes des pays en voie de développement, les PRO déversés de façon non contrôlée dans l'environnement suite au manque de systèmes adéquats liés à la mauvaise gestion et au manque de ressources financières, peuvent détruire l'équilibre des écosystèmes (Ngnikam & Tanawa, 2006; Diène *et al.*, 2010; Blunier *et al.*, 2014). Une bonne gestion des PRO permet d'assainir l'environnement, de fermer la boucle de la matière organique par un retour sur les sols de ces PRO et de tirer bénéfice des nutriments contenus dans ces PRO pour amender les sols et fertiliser les cultures. Les PRO apportés au sol conservent le stock d'humus des sols, favorisent une bonne structuration des sols et des systèmes racinaires, augmentent la capacité de rétention d'eau et fournissent des éléments nutritifs majeurs et des oligo-éléments. La connaissance des gisements des déchets, en termes quantitatif et qualitatif, est d'une importance fondamentale dans la mise en place d'une politique adéquate de gestion (Lacour *et al.*, 2011). Dans la plupart des pays, les gisements de ces PRO sont méconnus et ne sont pas quantifiés ; laissant les décideurs sans informations de base. La valorisation agricole des matières organiques issus des ménages, des élevages, des unités de traitement des eaux usées, des industries agroalimentaires, est perçue comme l'une des solutions aux problèmes liés à la gestion des déchets organiques. Cette valorisation des

PRO par l'agriculture a un double intérêt : (i) elle contribue, par le recyclage des déchets, non seulement à la réduction de la quantité de déchets déversés dans la nature de manière illégale, (ii) mais aussi au maintien de la fertilité des sols et donc à la productivité des terres indispensables à la durabilité des systèmes agricoles (Diène *et al.*, 2010).

Pour répondre aux objectifs de valorisation des PRO, il est important de connaître le gisement en termes de quantité, de potentialité, de localisation et de période de production (ONAS, 2013; Touré *et al.*, 2016). Selon Touré (2016), l'estimation du gisement des PRO permet de définir trois types de gisements : gisement brut, gisement maîtrisable et gisement mobilisable. Ces derniers sont essentiels pour connaître la quantité de PRO disponible dans une localité à la période donnée pour la fertilisation des sols. Existe-t-il suffisamment de gisement mobilisable de PRO pour la biofortification des cultures dans le village de Mbarokounda ?

Notre travail est une des activités essentielles du projet OR4FOOD (*Organic Residual Products for biofortified Food*) financé par l'Union Africaine et implémenté par le Cirad et ses partenaires ISRA, ITA, UCAD, AAU et IRD. Ce projet vise à biofortifier des aliments locaux africains (mil, niébé, patate douce à chair orangée naturellement) en vitamine A, en fer et en zinc par le biais de pratiques agroécologiques axées sur l'utilisation des Produits Résiduaux Organiques (PRO) et la sélection de variétés de mil, niébé, et PDCO naturellement riches en micronutriments.

L'objectif global de cette étude vise à qualifier les gisements de produits résiduaux organiques du village de Mbarokounda dans la localité de Malem Hodar en vue de leur recyclage en tant que fertilisant sur le sol agricole du village cible de Mbarokounda. Pour cela trois (3) objectifs spécifiques ont été fixés :

1. Déterminer la production locale de PRO du village de Mbarokounda et ce qui est effectivement disponible pour la fertilisation ;
2. Quantifier la production de PRO dans la zone et leur disponibilité ;
3. Estimer le potentiel agronomique et de biofortification particulièrement en fer et zinc des PRO pour les cultures.

Le mémoire est structuré en trois parties. Il passera tout d'abord par une analyse bibliographique des études récentes faites sur les PRO au niveau mondial et locale, ensuite par une description du matériel et des méthodes utilisés pour mener l'étude et pour finir par la présentation des résultats et la discussion avant de dégager des perspectives.

**SYNTHESE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

# 1 Synthèse bibliographique

Un produit résiduaire organique (PRO) est toute matière organique d'origine résiduaire, issue d'une activité agricole, agroindustrielle ou municipale, et est épandue sur un sol agricole pour valoriser ou recycler les éléments fertilisants et la matière organique qu'elle contient (Jarousseau *et al.*, 2016). Ce terme « désigne les matières organiques ou organo-minérales, qui peuvent être des déchets (effluents agroindustriels, d'élevage ou boues de station d'épuration ...) ou des produits issus de déchets (par exemple compost et digestat) » ; ce terme a été préféré à « déchets organiques » qui est restrictif (HOUOT *et al.*, 2014). Ces déchets sont constitués de molécules d'origine naturelle issues de la biomasse, pouvant intégrer facilement les cycles biogéochimiques (Moletta & Cansell, 2003). Les PRO sont constitués de la matière organique qui a la capacité à entretenir et à améliorer les teneurs en matière carbonée des sols, *i.e.* valeur amendante. En outre, ils contiennent une fraction minérale qui a la possibilité d'apporter des éléments fertilisants (macronutriments : azote, phosphore, potassium, calcium, magnésium et soufre ; micronutriments : chlore, cuivre, bore, molybdène, fer, manganèse, zinc et nickel) à la culture, *i.e.* valeur fertilisante. La problématique de la gestion des produits résiduaire organiques a fait l'objet d'étude de plusieurs mémoires de master et de thèse dans le monde et localement. De nombreux travaux ont été réalisés aux fins d'évaluer les gisements de déchets organiques en particulier, d'une part comme générateur potentiels de risques pour l'environnement et la santé et/ou d'autre part comme ressources potentiellement valorisables, en fonction de leurs propriétés bio-physico-chimiques (Lacour, 2012).

Dans les paragraphes suivants, nous présenteront les méthodes élaborées pour l'estimation du gisement des PRO avec des illustrations basées sur les connaissances actuelles des gisements.

## 1.1 Méthodes d'estimation des PRO mises en œuvre

L'estimation du gisement des produits résiduaire organiques sur une localité, une région ou un pays est une phase importante pour une bonne gestion des déchets. Elle permet de connaître la quantité de PRO potentiellement disponible dans un milieu bien déterminé et d'atteindre les objectifs de valorisation. Selon Touré *et al.* (2016), l'estimation du gisement permet de déterminer la nature et le flux de production des PRO. Pour déterminer la quantité mobilisable de PRO pour la fertilisation, et éviter une éventuelle concurrence entre les filières de valorisations locales, il est impératif de définir quatre (4) types de gisements : le gisement brut, (ii) le gisement maîtrisable, (iii) les valorisations locales, et (iv) le gisement mobilisable (Touré *et al.*, 2016). Le gisement brut est la quantité totale de PRO produits en une durée

déterminer. Le gisement maîtrisable est la quantité totale de PRO produits dans un lieu donné (stockable et accessible). Les valorisations locales sont les quantités de PRO utilisés dans la localité pour d'autres fins (aliment de bétail, construction, combustible ...). La soustraction des quantités valorisées localement à partir du gisement maîtrisable, permet de déterminer le gisement mobilisable pour la biofortification au niveau d'une localité, d'une région ou d'un pays.

### 1.1.1 PRO issus des activités agricoles

Dans le cadre de l'évaluation des gisements de déchets organiques dans les zones rurales et périurbaines, les résidus de récoltes et les déjections animales sont les catégories de déchets les plus importantes (en termes de masse) puisque l'agriculture au sens large constitue la principale activité existante dans ces zones (Lacour, 2012). Deux catégories de PRO agricoles existent :

1. Les PRO issus des cultures et
2. Les PRO issus de l'élevage

#### 1.1.1.1 PRO issus des cultures

Les systèmes agricoles dans le monde entier produisent de grandes quantités de résidus cultures. Toutefois, la nature des résidus de cultures disponibles varie évidemment selon les zones agroécologiques, en rapport avec les types de cultures (FAO, 2014a). Selon Lacour (2012) cité par Touré et al (2016), pour estimer le gisement des résidus organiques produit par les cultures sur un espace donné au cours d'un cycle de production revient à déterminer : les **types de cultures produites** et les **données de superficies emblavées par type de culture et des rendements**.

Des études récentes faites par Lacour (2012), SOLAGRO et *al.* (2013) et Touré (2016) montrent que la quantité de biomasse résiduelle peut être estimée par l'équation 1 :

*Équation 1 : Calcul de la biomasse résiduelle (kg/an)*

$$QBr = \sum_{(i=1 \rightarrow n)} Ri * Iri$$

Avec :

QBr = Quantité de Biomasses résiduelle ;

Ri = Rendement économique de la culture i ;

Iri = Indice résiduel spécifique pour la culture i

Source : Touré et al. (2016).

Le gisement brut de biomasse résiduelle est la quantité totale de résidus de culture produite sur un territoire au cours d'un cycle de production. Les pays sahéliens (Niger, Burkina Faso, Mali et le Sénégal) disposent, en 2010, de la plus grande part des résidus de culture : ils détiennent 90 pour-cent des résidus de céréales estimés à près de 80 millions tonne de MS dans l'espace UEMOA (FAO, 2014a). Au Sénégal, le gisement des résidus de culture généré au niveau national a été estimé à une valeur de 2 millions de tonnes de masse sèche (ONAS, 2013).

Le gisement brut des résidus organiques produit par les cultures au Sénégal au cours du cycle de production de l'année 2016 est estimé à 2 425 960 tonnes MS d'après les résultats des travaux de Touré et al. (2016). Il en ressort que le gisement de la région d'étude, la région de Kaffrine représente 448 926,7 tonnes MS soit 18,5% des PRO issus des cultures à l'échelle nationale. Ce gisement régional cache une disparité dans les différents départements et les types de culture. Les fanes d'arachide représentent les 66% du gisement brut de la région. Les 98 080 tonnes de MS de la biomasse résiduelle de la région se trouvent dans le département de Malem Hodar soit 22 % du gisement régional ou 4% de la production nationale (Touré *et al.*, 2016). Le gisement mobilisable des résidus de cultures est estimé à 19 141 tonnes de MS (avec une part de 94% pour le mil) dans la région de Kaffrine et à 2 062 tonnes de MS dans le département de Malem Hodar.

### 1.1.1.2 PRO issus de l'élevage

En Afrique de l'ouest, l'élevage est la seule activité agricole à laquelle se prêtent plus de 38 % de la population de l'espace agroécologique correspondant à une zone aride à semi-aride communément appelée le Sahel (FAO, 2014a). Le tableau 1 représente l'effectif du cheptel de l'espace UEMOA et sa part dans l'espace CEDEAO en 2014 et le tableau 2 représente l'effectif du cheptel du Sénégal en 2016.

*Tableau 1 : Importance numérique de l'élevage dans l'espace UEMOA et part dans l'espace CEDEAO*

Effectifs	Bovins	Ovins	Caprins	Camelins	Porcins	Volailles
Pays UEMOA	31 794 050	38 936 550	45 189 620	2 825 290	4 159 210	196 050 000
% CEDEAO	54,45	43,96	39,71	65,11	33,28	42,26

Source : FAO (2014a)

*Tableau 2 : Effectif du cheptel du Sénégal en 2016*

Effectifs	Bovins	Ovins	Caprins	Camelins	Porcins	Equins	Asins	Volailles
Sénégal	3 429 684	6 006 445	5 199 354	4 819	375 736	539 179	469 256	51 928 096

Source : Touré et al (2016)

La nature et les quantités des déjections d'élevages sont directement liées au type d'animal, à la nature du bâtiment, ainsi qu'au temps passé à l'intérieur par les animaux (ONAS, 2013; Barrère, 2014). Pour déterminer la quantité de déjection produite par un cheptel donné, au cours d'une période (mois, saison ou année) sur un territoire, la production moyenne d'excrétas d'individus est multipliée par la durée de production et par l'effectif de la population recensée (Lacour, 2012).

Selon Solagro (2013), l'évaluation du gisement en déjections animales, réalisée de manière statistique, s'appuie sur les données suivantes :

- Les effectifs par types d'animaux (bovins, ovins, caprins, équins, porcins, camelin, volaille)
- L'estimation du temps de pâture
- Application de ratios de production en quantité de déjection par animal et par an.

La Quantité Brute de Déjection (QBD) émise sur un territoire est égale à la somme du produit de l'effectif d'une catégorie animale en UBT ou en EPA, la quantité de biomasses fécales produite par une catégorie animale par jour (Kg) et du nombre de jours de production (y) retenu pour estimer la QBD (j) (Touré *et al.*, 2016) (Equation 2).

*Équation 2 : Calcul des quantités brutes d'effluents émises sur un territoire(kg/an)*

$$QBD = \sum_{(i=1 \rightarrow n)} Ei * bi * y \text{ Source : Touré et al. (2016)}$$

Avec QBD=Quantité Brute de Déjection (kg/an) ;  $Ei$ = Effectif de la catégorie animale  $i$  ;  $bi$ = production de déjection de la catégorie animale  $i$  par jour (Kg) ;  $y=365,25$  jours.

La quantité de biomasse fécale animale produite sur le territoire sénégalais est évaluée à 20,32 millions de tonnes de masses fraîches (ONAS, 2013). L'exploitation de la base de données élaborée par Touré et al. (2016), montre que le gisement national brut des déjections animales est estimé à 4 603 299 tonnes de matières sèches en 2016. Dans la région de Kaffrine, on enregistre un gisement brut de 236 411 tonnes de matières sèches soit 5% du gisement total du pays.

Et le gisement maîtrisable de déjections animales est de 118 206 tonnes MS/an, représentant la moitié du gisement brut régional.

- **Caractérisation des PRO d'élevage**

Les PRO fournissent des éléments fertilisants comme l'azote, le phosphore ou le potassium, d'autres macro-éléments tels que le soufre, le calcium et le magnésium, ainsi que des oligo-éléments : fer, zinc, cuivre, etc. indispensables à la bonne productivité des cultures mais aussi à la bonne qualité, en particulier nutritionnelle, des productions. Toutefois, ces derniers sont rarement analysés dans les produits (Lagrange, 2019). Dans un contexte d'équilibre de la fertilisation, il est plus que jamais nécessaire de bien connaître la composition des effluents d'élevage afin de pouvoir apporter la bonne dose au bon moment. L'analyse des échantillons de fientes de volaille, prélevés en cours d'élevage en France, montre que le fer (968 mg/kg MS) et le zinc (417 mg/kg MS) sont les microéléments les plus caractéristiques de ces effluents. Ils sont plus importants dans les lisiers de porc avec 1 734 mg/kg MS et 868 mg/kg MS respectivement le fer et le zinc (Levasseur *et al.*, 2019). Dans les fumiers de cheval et de vache au Sénégal, la teneur en zinc est estimée respectivement à 169 mg/kg MS et 377 mg/kg MS (Jarousseau *et al.*, 2016). La teneur en macro-éléments et en microéléments des déjections animales varie en fonction de la conduite de la litière sous les animaux, du mode d'élevage et de l'état de santé de animaux (Levasseur *et al.*, 2019).

### **1.1.2 PRO issus des activités agro-industrielles**

Les résidus organiques issus des Industries Agro-alimentaires (IAA) sont très variés. L'état de ces PRO est fortement tributaire de la matière première utilisée lors de la fabrication ou de la transformation. Ainsi ils peuvent être liquides ou solides. Les effluents sont moins chargés en matières organiques que les déchets de coupes, les déchets d'abattoirs ou les graisses (SOLAGRO *et al.*, 2013). Les ressources de fertilisation ou d'amendement issues des IAA rassemblent les boues et effluents des abattoirs et les déchets issus de la production ou de la transformation (farines de poissons, sons de céréales, bagasse, mélasse...). L'estimation des gisements des PRO peut être faite à travers les données recueillies auprès des responsables des unités de productions et/ou par pesages (Diène *et al.*, 2010). Selon Touré et al. (2016), l'estimation des gisements des PRO d'origine industrielle est précédée par les deux étapes suivantes :

1. L'identification et la localisation des unités de production
2. Organisation des rencontres avec les producteurs pour quantifier le gisement de PRO émis au cours d'une durée de production.

Pour déterminer la quantité de déchets organiques au niveau des abattoirs par exemple par année pour chaque espèce au niveau de chaque unité d'abattage, le poids moyen des déchets

par espèce ( $P_m = 48,56$  kg pour les bovins ;  $P_m = 4,0364$  kg pour les ovins/caprins) a été multiplié par l'effectif d'espèces abattues pour l'année considérée (Aboubakar *et al.*, 2018). Le gisement d'effluents issus des abattoirs produits au cours d'une année est obtenu en multipliant la quantité de carcasse produite par le ratio d'effluent par carcasse ( $5 \text{ m}^3/\text{tonne}$  de carcasse) (Farinet & Copin, 1994; Touré *et al.*, 2016). Selon le rapport de l'ONAS (2013), les quantités d'effluents organiques émis au niveau des abattoirs, sur le territoire national, représentaient un volume de  $91\,500 \text{ m}^3$ . Le volume issu des industries agro-alimentaires (pêcheries, brasseries et huileries) était 4,09 millions de  $\text{m}^3$ . La production de mélasse a été estimée à 100 mille tonnes dans l'espace UEMOA dont 45 % sont produits par la Côte d'Ivoire et le quart par le Sénégal (FAO, 2014a). Et la production de son de céréales (mil, sorgho, maïs, riz et blé) au Sénégal représente 7 % du total de ces sous-produits, produits dans l'espace UEMOA (FAO, 2014a; Touré *et al.*, 2016).

- Caractérisation des déchets d'abattoir

Les PRO issus des activités agroindustrielles peuvent contenir des éléments de traces métalliques (ou métaux lourds, ou oligo-éléments) qui sont indispensables aux processus vitaux mais deviennent toxiques dès que leur concentration dans l'organisme dépasse un certain seuil, variable en fonction de la nature de l'élément et du tissu de l'organisme considéré. L'analyse chimique d'échantillons de déchets d'abattoir prélevés à Dakar montre une concentration de 77 mg de Zn/kg MS (Jarousseau *et al.*, 2016).

### **1.1.3 Les PRO d'origine Municipale**

#### **1.1.3.1 Les PRO issus des déchets solides ménagers**

La connaissance des gisements de Déchets Solides Ménagers (DSM) produits sur un territoire permet d'optimiser le mode de gestion et de promouvoir, éventuellement, la création de filières de valorisation matière (Koledzi, 2011). La Fraction Fermentescible des Ordures Ménagères (FFOM) ou des déchets ménagers putrescibles ou encore biodéchets au sens strict de la réglementation européenne (Touré *et al.*, 2016) est généralement composée des déchets de cuisine, de certains déchets verts, des papiers cartons et des textiles sanitaires. Cette fraction des déchets est surtout dominante dans les Pays en Développement (PED). Elle dépasse 55% de la production totale de déchets contre 35% dans les Pays Industrialisés (PI) (Charnay, 2005). L'identification de ces PRO sur un territoire est généralement précédée par des opérations de caractérisation des déchets (catégories et granulométrie) pour déterminer les ratios de production de PRO par habitant et par jour.

Les quantités d'ordures générées par personne et par jour varient considérablement suivant le niveau économique et social d'un pays à l'autre, d'une région à l'autre ou d'un quartier à l'autre... (Khalifa, 2010). Généralement la moyenne pour les pays industrialisés se situe autour 1,4 à 1,7 kg.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> alors qu'elle est beaucoup plus faible, inférieure à 1 kg.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> dans les PED (Koledzi, 2011). Les ratios de production des Ordures Ménagères (OM) des pays en développement varient entre 0,21 et 0,90 kg.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> (Charnay, 2005). La méthode de caractérisation généralement utilisée en France, dans les pays francophones, et quelques pays anglophones (Ciuta *et al.*, 2015) est décrite par la norme française NF X 30-408 (AFNOR, 1996), dont découle le MODECOM (Topanou, 2012), remplacé depuis 2014 par la CARADEME (ADEME, 2014). MODECOM est une méthode de caractérisation des ordures ménagères suffisamment générique pour être adaptée à d'autres situations, suivant le niveau de gestion des DSM et la disponibilité des données sur un territoire de l'étude. C'est une méthode développée par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) servant à déterminer la composition des déchets produits par les habitants d'une aire géographique définie. Concrètement, des échantillons de déchets sont prélevés selon des protocoles normalisés (et un plan d'échantillonnage adapté) puis triés sur une table de tri en différentes catégories (déchets putrescibles, papiers, cartons, plastiques...). Le déroulement de la caractérisation peut être différent d'une zone à l'autre ou d'un pays à l'autre, mais les étapes clés de cette caractérisation (enquête sociologique, échantillonnage de la cible, prélèvement des échantillons, tri et caractérisation granulométrique et typologie) sont généralement maintenus et mises en œuvre.

Au Sénégal, la détermination de la quantité de la fraction fermentescible des OM s'appuie sur les résultats d'étude de caractérisation des OM pour les ratios de production de PRO par individus (Rouyat *et al.*, 2006), ou leur pourcentage par rapport à la quantité d'OM totale émise (ONAS, 2013) cités par (PNGD & UCG, 2015a; Touré *et al.*, 2016). Le ratio de production ( $r$ ) est la quantité moyenne de déchets en kilogramme produite par habitant et par jour au niveau d'un territoire donné. Le ratio national est estimé à 0,522 kg.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>, soit 6 803 t.j<sup>-1</sup> (PNGD & UCG, 2015a) et varie d'une zone à l'autre. Ainsi il est évalué à 0,505 kg.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> pour la région de Fatick (PNGD & UCG, 2015b), 0,395 kg.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> pour le département de Mbour (PNGD & UCG, 2015c), 0,529 kg.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> pour la région de Kaffrine (PNGD & UCG, 2015d).

Pour l'ensemble des villes du Sénégal la production totale annuelle d'ordures ménagères est estimée à 1 313 528 tonnes de masse sèche par an (ONAS, 2013). La production d'ordures

ménagères et assimilées de la région de Kaffrine est de 102 706,41 t MS/an, équivalent à une production moyenne de 181,14 kg.hab<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>. Les putrescibles sont une composante essentielle des flux émis et représentent 7 390,59 t MS/an, soit 7,84% du flux total (PNGD & UCG, 2015d). L'analyse des bases de données de Touré montre que la production de putrescibles est estimée à 2 271 tonnes de MS dans le département de Malem Hodar au cours de l'année 2016.

- **Caractérisation des déchets ménagers**

La composition chimique des déchets ménagers varie beaucoup en fonction des modes et niveaux de vie (Buenrostro & Bocco, 2003). Ces déchets sont riches en éléments chimiques (carbone C, azote N, phosphore P, ...) et contiennent certains métaux comme le fer (Fe), le plomb (Pb), le chrome (Cr), le zinc (Zn)...

L'ordre décroissant suivant des métaux les plus retrouvés dans les ordures ménagères à Nouakchott est le suivant : Fe>Pb>Cr>Co>Ni>Zn>Cu>Cd (Aloueimine, 2006).

Le fer reste le métal le plus présent dans les déchets en général avec des quantités de l'ordre du gramme par kilogramme de déchets secs (Flyhammar, 1997). Dans les pays en voie de développement, la teneur en fer des DSM est estimée à 5,38 g/kg MS alors que le zinc est évalué à 0,48 g/kg MS (Aloueimine, 2006).

### **1.1.3.2 Les eaux usées de l'assainissement collectif**

Les eaux usées collectées par le réseau d'assainissement collectif comprennent les eaux usées produites par les ménages (les eaux de vaisselle, de douche, et les déjections), mais aussi les effluents biodégradables des agroindustriels, hôtels, restaurants, etc. dont la charge polluante ne diffère pas ou peu de celle des eaux usées domestiques. Elles sont moins concentrées en matières organiques que les boues de vidange des ouvrages sanitaires individuels (OIEau, 2014). La charge organique des eaux usées est déterminée par les paramètres suivants : Demande Biochimique en Oxygène (DBO), Demande Chimique en Oxygène (CDO), et les Matières en suspension (MES) (ONAS, 2013). La demande biochimique en oxygène constitue la principale donnée pour l'établissement des capacités biologiques des stations d'épuration (ONAS, 2017). La détermination des volumes d'eaux usées se fait à partir du calcul du débit à l'entrée de la Station d'Épuration (STEP) ou par des mesures automatiques de débit à l'entrée de la STEP (Bruxelles Environnement, 2015). Le type de débit enregistré à l'entrée de la station peut être un débit de pointe (débit horaire maxi reçu par la station) ou un débit moyenne 24 heures (débit moyen horaire reçu par la station au cours des 24 heures (Mage, 2006).

L'estimation à grande échelle du gisement des boues issues des eaux usées et matières de vidange nécessite de disposer de la liste des STEP existantes, de leur capacité (Equivalent Habitant), du pourcentage de la population raccordée aux ouvrages sanitaires individuels et les ratios spécifiques de production matières (SOLAGRO *et al.*, 2013) cité par (Touré *et al.*, 2016). La production d'eaux usées dans la capitale sénégalaise avoisine 67 millions de mètres cubes (m<sup>3</sup>) par année et seule une quantité faible fait l'objet de traitement au sein de stations d'épuration (Gueye *et al.*, 2010).

### 1.1.3.3 Matières de vidange de l'assainissement individuel

Les matières de vidange sont constituées par les fèces, les urines, eaux de lavage et les eaux usées ménagères (fosse toutes eaux) extraites des ouvrages d'assainissement individuels après un certain temps d'accumulation. La collecte (la vidange) des boues, dans les pays d'Afrique de l'Ouest, se fait aussi bien mécaniquement, par des camions hydrocureurs ou autres engins mécanisés ou semi-mécanisés, que manuellement, à la pelle et au seau (Koanda, 2006).

Les quantités de Boues de Vidange (BV) produites sont mal connues ou peu maîtrisées dans les pays d'AO du fait de la variabilité du type d'installation d'assainissement non collectif existante (Koné, 2010; Kouawa, 2016). A cette variabilité s'ajoute l'absence de standardisation des dimensions des installations construites. Il devient alors difficile d'avoir une estimation de la production de boues pour chaque type d'installation et par conséquent le gisement global des BV produites dans les localités. Toutefois, un taux moyen de 128 g.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> de masse fécale a été retenu à partir d'une distribution de 116 valeurs moyennes d'études faites sur des individus sains, d'origines diverses donnant une plage qui variait entre 51 à 796 g.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> (Rose *et al.*, 2015). Le ratio moyen de matières sèches issues de ces fèces a été estimé à 29 g.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>. Selon ces mêmes auteurs (Rose *et al.*, 2015) le taux moyen de production d'urine était 1,42 l.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup> et le ratio moyen de matières sèches contenues dans ces urines était de 59 mg.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>.

L'estimation de la quantité brute de boues de vidange émise sur un territoire est calculée par l'équation 3 (Blunier *et al.*, 2014; Touré *et al.*, 2016) :

*Équation 3 : Calcul de la quantité brute de boues de vidange émise sur un territoire (m<sup>3</sup>/an)*

$$QBP_{an} = (NUFs * QSBFs * 10^{-3} + NULs * QSBLs * 10^{-3}) * y \quad \text{Avec :}$$

- $QBP_{an}$  = Quantité de Boues Produite par an sur un territoire (m<sup>3</sup>/an)
- NUFs : Nombre d'Utilisateur(s) de Fosse(s) septique(s)

- QSBFs : Quantité Spécifique moyenne de Boues Produites par utilisateurs sur Fosse septique
- NULs : Nombre d'Utilisateurs de latrine(s) sèche(s)
- QSBLs : Quantité Spécifique moyenne de Boues Produites par utilisateurs sur latrine sèche ; y : 365,25

Quant aux quantités de boues pompées (vidange mécanique) par an, la méthode est basée sur le comptage du nombre de tours de vidange par an et le volume du camion et (Koanda, 2006; Defo *et al.*, 2015) (Equation 4).

Équation 4 : Calcul de la quantité brute de boues de vidange émise sur un territoire ( $m^3/an$ )

$$Q = 365 * N * V$$

- Q ( $m^3/an$ ) : quantité de boues pompées
- N : Nombre total de tours effectués par les camions par an
- V ( $m^3$ ) : Volume d'un camion

Selon l'ONAS à travers une étude sur la production de données de références pour la production de biogaz au Sénégal, les eaux usées domestiques produites sur le territoire national ont été évaluées à 274,86 millions de  $m^3$  (ONAS, 2013). Les volumes de BV des latrines sont estimés à 1 842 657  $m^3/an$  dans la région de Kaffrine (Touré *et al.*, 2016).

- Caractérisation des boues de vidange

L'analyse de la qualité agronomique, les éléments mesurés (d'oxyde de Calcium (7 % MS), monoxyde de sodium (1,41 % MS), d'azote (0,07 % MS) montrent que les boues de vidange de Dakar ont un bon pouvoir fertilisant comparés à ceux du Cameroun et au fumier de poule (Mbéguééré *et al.*, 2009).

Le fer (8 910 mg/kg MS) et le zinc (968 mg/kg MS) sont les éléments-traces métalliques dominants dans les bio-solides (Mbéguééré *et al.*, 2009). Toutefois, les teneurs en métaux lourds sont largement au-dessous des normes fixées pour l'épandage en France mais du même ordre de grandeur que celles du label écologique de la Communauté Européenne. Les analyses ont aussi montré que les boues de Dakar se situent, pour certains éléments, entre celles de Bangkok et des USA. Ce qui conforte leur utilisation.

## 1.2 Potentiel agronomique et de biofortification

### 1.2.1 Potentiel agronomique

Les PRO épandus sur les parcelles de cultures améliorent les propriétés physico-chimiques et biologiques du sol. Ils stimulent l'activité biologique et permettent une meilleure aération du sol. A côté de ces effets bénéfiques de l'apport de PRO, des bénéfiques directs sur la nutrition des plantes existent avec la plupart des déchets organiques grâce aux éléments fertilisants

qu'ils contiennent en plus ou moins grandes quantités (N, P, K, Ca, Mg, S) (MULLER, 2016). Le Potentiel Agronomique (PA) est la quantité d'éléments (N, P, K) apportée par les PRO au sol pour augmenter la productivité.

### **1.2.2 Potentiel de biofortification**

La biofortification est un concept intéressant qui permet d'améliorer non seulement les conditions de croissance des cultures, mais aussi d'exploiter le potentiel d'une plante à mobiliser et à utiliser les micronutriments (Zuo & Zhang, 2009). Ces micronutriments (Cu, Zn, Fe, Mn, etc.) sont des sels minéraux indispensables à la croissance et au développement des microorganismes, des plantes et des animaux. Potentiel de Biofortification (PB) est la quantité de micronutriments (Fe et Zn) que peut fournir les PRO aux cultures pour augmenter leur qualité nutritionnelle. Les facteurs physico-chimiques du sol affectent la disponibilité du Fe et du Zn pour les cultures. Une faiblesse de teneur en MO, d'aération et d'humidité du sol de même qu'une forte présence d'argiles dans le sol entraîne une diminution de la solubilité du fer et du zinc. Ces oligo-éléments particulièrement le fer (Fe) et le zinc (Zn) font l'objet d'analyse pour cette étude pour la biofortification des cultures par l'apport des PRO aux sols cultivables (technique agroécologique).

**MATERIEL ET  
METHODES**

## 2 Matériel et Méthodes

La démarche adoptée dans cette étude est double. Elle consiste à faire, dans un premier temps, une revue des documents sur les produits résiduels organiques au Sénégal (surtout dans la région de Kaffrine), puis une prospection dans la zone d'étude.

La prospection a pour but (i) d'identifier les PRO par des interviews au sein de certaines institutions détentrices des données statistiques utiles à l'étude, des unités de production et des chefs de ménage (ii) d'estimer et de caractériser les gisements mobilisables de PRO susceptibles d'être utilisés comme fertilisant.

### 2.1 Présentation du milieu d'étude

Malem Hodar est un des quatre départements de la région de Kaffrine et fait partie des départements les plus pauvres du Sénégal. Ce département se situe entre 14° 05' 18" Nord et 15° 17' 40" Ouest avec une altitude moyenne de 41 mètres. La population du département de Malem Hodar est évaluée à 117 462 habitants en 2019 dont 49,8% d'hommes et 50,2% de femmes. Près de la moitié de la population départementale, soit 48,8%, a moins de 15 ans et celle de moins de 25 ans en constitue les 67,3% (ANDS, 2016). Sa densité est de 48 hab./km<sup>2</sup> contre 82 hab./km<sup>2</sup> au niveau national (ANDS, 2016). Les villages Diaby, Mbarokounda, Sagna, Taïba Mbadianène et Malem Hodar sont enquêtés dans la zone d'étude. L'ethnie dominante est le Wolof qui représente 74%, en considérant la première langue parlée par la population. Il est suivi de loin, du Pulaar et du Sérère. La religion musulmane est très largement majoritaire.

La durée, l'intensité et la répartition saisonnière des pluies en un endroit donné varient considérablement d'une année à l'autre, en particulier dans les régions où les pluies sont les moins abondantes. Dans la région, les hauteurs annuelles des pluies sont actuellement situées entre 400 et 860 mm dans les stations de Kaffrine et de Kounghoul (ANDS, 2016). Le cœur de la saison des pluies se situe aux mois d'août et septembre avec les hauteurs maximales obtenues de précipitations. Les températures observées dans la région sont généralement élevées avec des variations parfois importantes au cours de la journée. Elles oscillent entre 26 et 42°C avec une moyenne de 30°C et une durée d'ensoleillement moyenne de 11 heures. Les plus basses températures sont enregistrées entre décembre et janvier et les plus élevées entre mars et mai. Mbarokounda se trouve entre 14,02° Nord et 15,29° Ouest.

Malem Hodar est un département à forte vocation agricole. L'agriculture occupe 85% de la population départementale. Par ailleurs, il se trouve dans la première région productrice d'arachide du Sénégal. L'arachide d'huilerie est la principale spéculature cultivée dans la

région de Kaffrine avec 47,4% des superficies totales emblavées. Des cultures vivrières comme le mil, le sorgho, le maïs, etc. sont également pratiquées dans la zone. Le cheptel est composé de bovins, ovins, caprins, équins, asins et volailles familiales. Beaucoup d'animaux (bovins, ovins et caprins) transhumant dans la zone durant la période sèche du mois de janvier au mois de juin.

Les entreprises de la zone évoluent majoritairement dans le secteur informel. La répartition des unités économiques selon la branche d'activité et la taille révèle que, dans toutes les catégories d'entreprises, le commerce est le plus représenté. Il domine dans les entrepreneurs (58,3%) et couvre plus de la moitié des unités économiques dans les Petites et moyennes entreprises.

## **2.2 Echantillonnage des ménages à enquêter**

L'enquête préliminaire auprès des chefs de ménages et des institutions détentrices de données (annexe) est une activité indispensable de l'estimation et de la caractérisation des PRO. Elle permet, d'une part, de recueillir le maximum d'informations utiles voire indispensables pour l'orientation de la stratégie à adopter pour une bonne conduite de l'étude et, d'autre part, d'avoir une idée sur les perspectives en matière de gestion des déchets éventuellement exprimées par les premiers concernés. Il s'agit notamment de connaître la population des villages, les effectifs du cheptel et de la volaille, les rendements et superficies emblavées par types de cultures, les unités de production des déchets, la pratique de gestion de ses déchets, la valorisation opérée des déchets ou de l'une de ses fractions s'il y a lieu, etc. Les cinq villages Mbarokounda, Taïba Mbadianène, Sagna, Diaby et Malem Hodar (tableau 3) ont été enquêtés dans la zone et constituent la localité de Malem Hodar dans ce document. La localité de Malem Hodar est différente du village de Malem Hodar et du département Malem Hodar. Le choix de ces villages enquêtés est basé sur la réponse de la question : « jusqu'à quel village pouvez-vous aller chercher des PRO pour fertiliser vos cultures ? » posée à la population de Mbarokounda lors de la première réunion à la plate-forme d'innovation OR4FOOD le 25 février 2020. Compte tenu du temps que nous avons sur le terrain du 24 février au 06 mars 2020, nous avons enquêté de manière aléatoire 116 ménages au total soit 20% des ménages pour les villages Mbarokounda, Taïba Mbadianène, Sagna et Diaby et 5% des ménages pour Malem Hodar. Les informations recueillies sont reportées sur le formulaire d'enquête. Au terme de ces enquêtes, les données sont reportées sur tableur Excel et traitées.

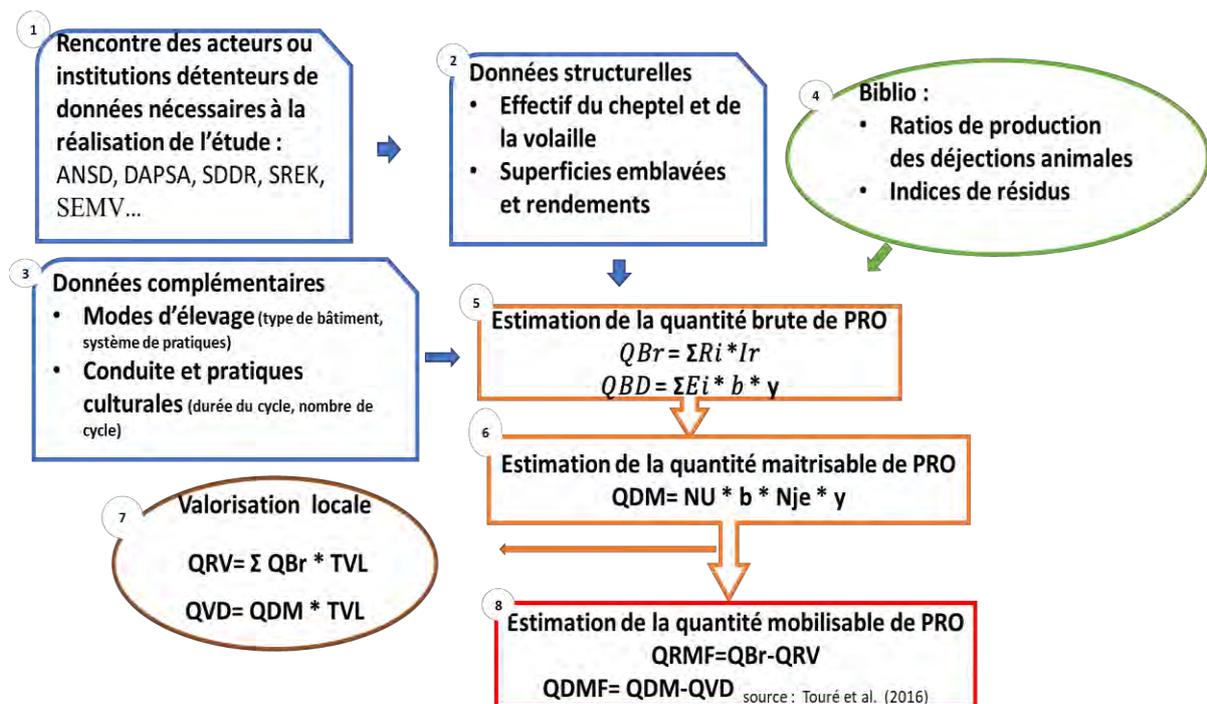
Tableau 3 : Caractéristiques démographiques des villages enquêtés

N°	Communes	Villages	Population	Nombre ménages	Nombre ménages enquêtés	Pourcentage enquêtes
1	Malem Hodar	Malem Hodar	7879	738	37	5%
2	Sagna	Diaby	1188	82	16	20%
3	Sagna	Mbarokounda	1437	148	30	20%
4	Sagna	Sagna	1344	127	25	20%
5	Sagna	Taïba Mbadianène	596	42	8	20%
Total			12 444	1 137	116	10%

Source : ANSD, 2019

### 2.3 Démarche de l'estimation des PRO d'origine agricole

Il s'agit d'établir une méthode d'estimation des PRO valable à l'échelle du village. Une démarche de huit (8) étapes (figure 2) est adoptée pour estimer la quantité mobilisable de produits résiduels organiques d'origine agricole pour la fertilisation. Ces PRO sont générés par la production végétale (les cultures) et la production animale dans un milieu donné au cours du temps.



*Figure 1 : Démarche de 08 étapes pour l'estimation des PRO d'origine agricole*

### **2.3.1 Etape 1 : Rencontre des acteurs institutionnels détenteurs de données**

La réalisation de cette activité a fait l'objet de plusieurs interviews téléphoniques ou de rencontres avec les institutions nationales (ANSD, MEPA et DAPSA), régionales (chambre de commerce de Kaffrine, direction régionale de l'élevage et de la production), et départementales (service d'élevage et de médecine vétérinaire de Malem Hodar et la mairie) détentrices et productrices de données utiles à l'étude.

### **2.3.2 Etape 2 : les données structurelles**

Les données structurelles sont constituées par les effectifs du cheptel et de la volaille et les superficies emblavées par type de culture et les rendements des différents villages enquêtés. Pour les données de production issues des cultures, nous les avons acquises auprès de la Direction de l'Analyse et de la Prévision des Statistiques Agricoles (DAPSA) du Ministère de l'Agriculture et de l'Équipement rural (MAER). Elles concernent les rendements et les superficies emblavées des cultures de mil, sorgho, maïs, niébé, arachide et sésame disponibles à l'échelle des villages de Mbarokounda, Taïba Mbadianène, Diaby, Malem Hodar et Sagna.

Pour l'identification de la production animale, nous avons obtenu les données de production auprès du service d'élevage et de médecine vétérinaire de Malem Hodar. Ces données sont les effectifs du cheptel (bovins, ovins, caprins, équins et asins) et de la volaille des différents villages concernés par l'étude. Les effectifs des animaux obtenus auprès du Service Régional de l'Élevage de Kaffrine et au MEPA sont à l'échelle départementale.

### **2.3.3 Etape 3 : Les données complémentaires**

Il s'agit des données caractéristiques des systèmes locaux de production agricole susceptibles d'influencer la production de PRO en termes de quantité et de qualité. Elles sont obtenues auprès des chefs de ménages des cinq villages enquêtés. Ces données sont : type de spéculation, durée du cycle de production, nombre de récoltes par an pour les cultures ; et pour l'élevage de la durée de stabulation, apport de litière et type de bâtiment. Ces données permettent de déterminer la production de produits résiduaux organiques d'origine agricole par secteur et par unité de temps.

### **2.3.4 Etape 4 : Les données bibliographiques**

Ces données sont les indices de résidus de cultures pour une durée de production et les ratios de déjection d'animaux par jour.

- Cultures

Les indices de résidus de cultures sont spécifiques à chaque type de cultures. L'indice de résidus est une valeur calculée, le rapport spécifique de la quantité de biomasse résiduelle produite par une culture après un cycle de production sur le rendement. Nous avons pris les indices de résidus de la base de données élaborée par Touré et al. (2016). Le tableau 4 représente les indices de résidus des six (6) cultures dont leurs données structurelles sont disponibles à l'échelle du village au niveau de la DAPSA.

*Tableau 4 : Indices de résidus des cultures prises en compte dans cette étude*

Cultures	Mil	Sorgho	Mais	Niébé	Arachide	Sésame
<b>Ir</b>	1,4	0,73	0,98	1,93	1,7	0,61

Source : Touré et al (2016)

En outre, il est possible d'utiliser l'indice de récolte qui est le pourcentage du rapport du Rendement (R) sur la biomasse totale (biomasse résiduelle + rendement) produite par une culture après un cycle de production pour estimer les quantités de résidus produit.

- Elevage

Les effectifs des animaux (bovins, ovins, caprins, équins et asins) présents dans la zone sont rapportés à l'Unité de Bétail Tropical (UBT). Un UBT correspond à un Animal de 250 kg en milieu tropical. Nous avons déduit des travaux de Touré (2016), le ratio de 2,7 kg de matière sèche de biomasse fécale produite par 1 UBT par jour (tableau 5). Nous avons appliqué ce ratio aux animaux de tailles et de poids supérieurs (bovins, équins et asins) pour estimer les quantités de déjection émises dans la zone par ces animaux. Pour les petits ruminants (ovins et caprins), un individu de 28 kg de poids vif (0,11 UBT) produit 1,2 kg de déjection fraîche par jour soit 0,30 kg de masse sèche de biomasse fécale. Pour la volaille nous avons défini l'Equivalent Poule Adulte (EPA) à partir des études de (Sonaiya & Swan, 2004) et de (Touré *et al.*, 2016). 1 EPA (2kg de poids vif) produit quotidiennement une quantité  $b=2,73 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{j}^{-1}$  de masse sèche (MS) de fiente.

Tableau 5 : Ratios de production de biomasse fécale produit par UBT/EPA (kg MS/j)

Source	Touré <i>et al.</i> (2016)					Sonaiya & Swan (2004)
Animaux	Bovin	Ovin	Caprin	Equin	Asin	Volaille
Nbre UBT/EPA	1 UBT	0,11 UBT	0,11 UBT	1 UBT	1 UBT	1 EPA
<b>bi</b> (kg MS/j)	2,7	0,3	0,3	2,7	2,7	$2,73 \cdot 10^{-3}$

### 2.3.5 Etape 5 : Estimation de la Quantité Brute (EQB) de PRO

L'estimation de la Quantité Brute de la biomasse résiduelle d'origine agricole prend en compte plusieurs paramètres aussi bien pour les cultures que pour l'élevage.

- Cultures

D'après Lacour *et al.* (2011), les masses de résidus varient selon le type de culture et à chaque récolte pour une même culture et dans les mêmes conditions socio-économiques et agroécologiques. La méthode retenue pour l'estimation des résidus de récoltes a été élaborée à partir des équations initiées par Lacour (2012) et Touré *et al.* (2016). Cette estimation des Gisements Bruts (GB) de résidus de cultures a retenu les 6 groupes de cultures les plus importantes dans la zone en termes de leurs productions pour l'année de référence de 2019. Les productions spécifiques des résidus de cultures sont obtenues en multipliant les Rendements spécifiques (**Ri**) pour l'année de référence par les Indices de résidus (**Ir**) respectifs des différentes cultures. La Quantité Brute des résidus de récolte (**QBr**) est la somme des gisements spécifiques de résidus de cultures (Equation 1).

- Elevage

Le mode d'élevage, la conduite animale et les potentialités du milieu physique conditionnent généralement la taille et la composition du cheptel, de même que la taille des individus du même âge et de la même espèce, et aussi, par conséquent, les quantités de déjections animales produites par une unité d'élevage, au cours d'une période donnée (Lacour, 2012; FAO, 2014b).

La démarche adoptée prend en compte les productions de déjections des bovins, ovins, caprins, asins, équins, ainsi que celles de la volaille. Pour évaluer la Quantité Brute de Déjection (QBD) produite par une population animale donnée, au cours de l'année de référence, la production moyenne journalière d'excrétas d'un individu (**bi**) est multipliée par  $y$

(365,25 jours pour le cheptel local ou 153 jours pour le cheptel transhumant) et par l'effectif du cheptel ( $E_i$ ) recensé pour l'année de l'étude (Equation 2).

### 2.3.6 Etape 6 : Estimation de la quantité maitrisable de PRO

- Cultures

La quantité maitrisable des résidus de cultures est la biomasse résiduelle totale des différentes cultures accessibles sur les parcelles après une récolte d'un cycle de production. Pour les cultures, la quantité maitrisable peut être considérée égale à la quantité brute vue qu'elle est produite sur la parcelle de culture.

- Elevage

Les Quantités de Déjections Maîtrisables (QDM) représentent les quantités de déjections produites en un lieu donné (bâtiment, parc) avec une durée de présence déterminée (Touré *et al.*, 2016). La quantité de déjection maitrisable est fortement dépendante des modes d'élevage, de la saison et de la zone agroécologique. Elle se différencie de la quantité brute de déjection par son caractère stockable et accessible. La Quantité de Déjection Maitrisable (QDM) en kilogramme est le produit de l'effectif en UBT (NU) (ou en EPA pour la volaille), de la quantité de biomasse fécale produite par individu par jour ( $b$ ), du nombre d'heure de présence à l'étable par jour (obtenu par enquête auprès des chefs de ménage) divisées par 24 (Nje) et de la durée de production ( $y$ ). Elle se traduit par l'équation 5 :

*Équation 5 : Calcul de la Quantité de Déjections Maitrisable sur un territoire (kg/an)*

$$QDM = NU * b * Nje * y \quad \text{source : Touré et al. (2016)} \quad \text{avec } Nje = Nhe / 24h$$

### 2.3.7 Etape 7 : Estimation des quantités de valorisation locale des PRO

- Cultures

Les résidus de récolte sont généralement valorisés en milieu rural. La valorisation des résidus de cultures s'explique par leur utilisation pour la construction, l'alimentation du bétail et le combustible (quantité négligeable). La Quantité de Résidus Valorisée (QRV) localement est obtenue en multipliant la Quantité Brute de résidus de récoltes (QBr) par le Taux de Valorisation Local (TVL) déterminé auprès des chefs de ménage (Equation 6).

*Équation 6 : Calcul de la quantité de résidus de cultures valorisée localement (kg/an)*

$$QRV = \sum QBr * TVL \quad \text{source : Touré et al. (2016)}$$

$$TVL = \frac{\text{nombre de charettes de résidus valorisés}}{\text{nombre de charettes total de résidus produit}} * 100$$

- Elevage

La Quantité de Valorisation locale de Déjection (QVD) représente le produit de la quantité de déjections animale maitrisable et du Taux de Valorisation Local (TVL) (Equation 7).

*Équation 7 : Calcul de la Quantité de Valorisation locale de Déjections (kg/an)*

$$\text{QVD} = \text{QDM} * \text{TVL} \text{ source : Touré et al. (2016)}$$

### **2.3.8 Etape 8 : estimation de la quantité mobilisable de PRO d'origine agricole pour la fertilisation**

Le gisement mobilisable de matière organique d'origine agricole pour la fertilisation est la différence de la quantité brute et de la quantité valorisée localement pour les cultures (Equation 8), et la différence de la quantité maitrisable à celle de la valorisation locale pour les déjections animales (Equation 9).

*Équation 8 : Calcul de la Quantité de Résidus de cultures Mobilisable pour la Fertilisation (kg/an)*

$$\text{QRMF} = \text{QBr} - \text{QRV} \text{ source : Touré et al. (2016)}$$

Avec QRMF : Quantité de Résidus de cultures Mobilisable pour la Fertilisation

QBr : Quantité Brute de résidus de récoltes

QRV : Quantité de résidus de cultures valorisée localement

*Équation 9 : Calcul de la Quantité de Déjection Mobilisable pour la Fertilisation (kg/an) sur un territoire*

$$\text{QDMF} = \text{QDM} - \text{QVD} \text{ source : Touré et al. (2016)}$$

Avec QDMF : Quantité de Déjection Mobilisable pour la Fertilisation

QDM : Quantité de Déjection Maitrisable

QVD : Quantité de Valorisation locale de Déjection

## **2.4 Démarche d'estimation des PRO issus des activités agro-industrielles**

Des interviews téléphoniques avec la chambre de commerce de Kaffrine (figure 3) nous ont permis d'identifier et de localiser les différentes Unités de Productions (UP) de PRO de la localité de Malem Hodar.

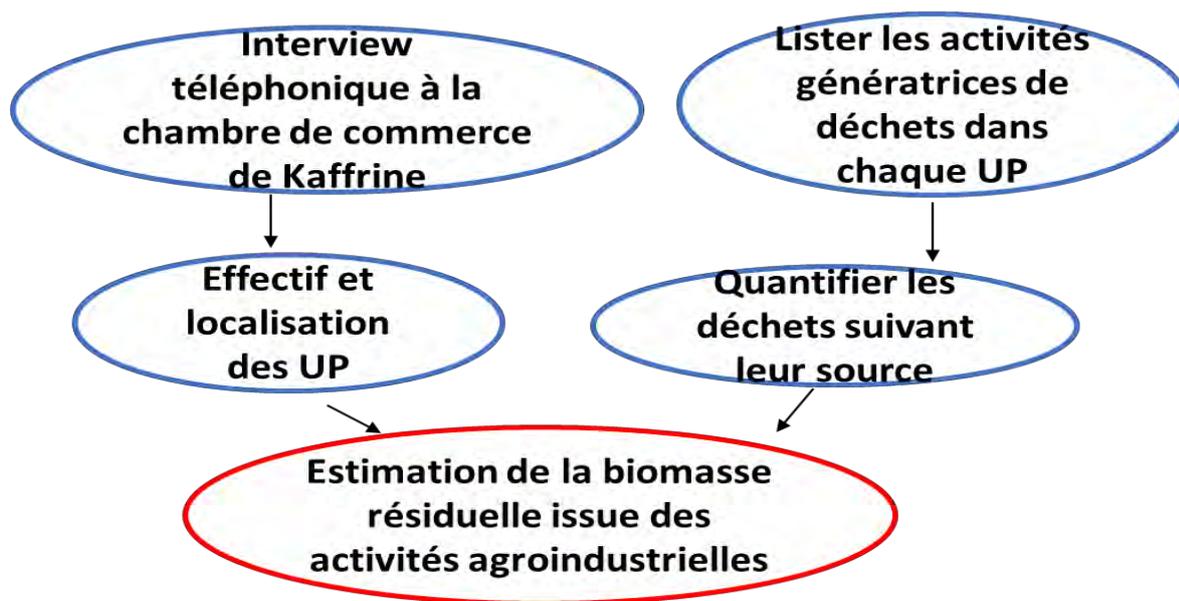


Figure 2 : Démarche de 05 étapes pour l'estimation des PRO d'origine agroindustrielle

Notre zone d'étude est un milieu sous développé. Les industries agroalimentaires sont traditionnelles et peu à nombreuses. Les restaurants et les boulangeries produisent de très faibles quantités de matière organique non mobilisables. Ces déchets produits par ces unités de production sont utilisés comme aliment de bétail. Il existe une seule aire d'abattage dans le département de Malem Hodar. Les déchets organiques qui y sont produits ne sont pas valorisés. Les déchets d'abattoir sont brûlés sur site là où ils étaient stockés à l'air libre. Nous avons procédé à une quantification des gisements de contenu de panse des animaux produits dans l'abattoir, à partir de l'estimations du nombre de têtes d'ovins/caprins et de bovins abattus par jour auprès du gérant du site d'abattage. Le nombre d'animaux abattus au niveau du site d'abattage pour l'année 2019 a été obtenu en faisant le produit du nombre de têtes abattues par type d'animal par jour et le nombre de jour de l'année. Dans cette présente étude, il ne s'agit pas forcément d'une évaluation exhaustive des diverses catégories de déchets organiques générées par les activités d'abattage. Nous n'avons pas considéré les déchets de tissus animaux (peaux, abats, cornes et ongles) en raison de leur caractère hautement pathogène, les rendant inaptes au recyclage agricole sans une hygiénisation préalable (Aboubakar *et al.*, 2018).

Selon (Aboubakar *et al.*, 2018), pour déterminer la Quantité de Déchets Animaux (contenus de panse) (QDA) produite par le nombre d'espèces animales abattues dans un abattoir, au cours de l'année de référence ( $y$ ), on fait la somme des produits d'effectif d'abattu par an et par espèce ( $Ea$ ) et la production moyenne de déchets animaux par individu ( $QMDi$ ) (Equation 10). La production moyenne de déchets (contenus de panse) par individu varie en fonction de

l'espèce abattue. Elle est estimée à 48,56 kg de masse brute pour un bovin ou 4,04 kg de masse brute par individu d'ovins ou de caprins (Aboubakar *et al.*, 2018).

*Équation 10 : Calcul de la quantité de déchets animaux (contenus digestifs) QDA produit dans un abattoir (kg/an)*

$$QDA \text{ (kg/an)} = \Sigma QMDi \text{ (kg/ind.)} * Ea$$

Avec QDA : Quantité Déchets (contenus de panses) produits dans l'Abattoir (kg/an) ;

QMDi : Quantité Moyenne de Déchets produite par un individu d'ovin de caprin ou de bovin (kg) ;

Ea : Effectif abattu par an par type d'espèces (bovins, ovins et caprins).

## 2.5 Démarche d'estimation des PRO d'origine municipale

Les produits résiduels organiques issus de la municipalité sont très divers. Il existe des déchets organiques à l'état solide (déchets ménagers) et d'autres à l'état liquide (boues de vidange, eaux usées).

- Fraction fermentescible des déchets solides ménagers

L'estimation de la quantité de la fraction fermentescible des déchets solides ménagers passe par la caractérisation complète. Cette caractérisation des déchets solides ménagers est coûteuse (temps, matériel, main d'œuvre) et ne peut être mise en œuvre dans le cadre de ce projet. C'est pourquoi nous avons retenu le ratio de production de déchets biodégradables de la région de Kaffrine ( $r=14,2$  kg/hab./an) déterminé lors de la campagne de caractérisation des DSM de l'UCG en 2015. Selon le rapport de la campagne de caractérisation des déchets ménagers (PNGD & UCG, 2015d), la quantité de la fraction fermentescible des OM produite sur un territoire est connue par l'équation 11 :

*Équation 11 : Calcul de la quantité de la Fraction fermentescible de OM produit sur un territoire(kg/an)*

$$QFF \text{ (kg/an)} = r \text{ (kg /hab./an)} * P \text{ (hab.)} \quad \text{Avec :}$$

QFF : Quantité de la Fraction Fermentescible des OM produite par an sur un territoire donné.

r : quantité moyenne de déchets biodégradables en kilogramme produite par habitant et par année au niveau d'un territoire donné.

P : population (hab.)

- Boues de vidange et eaux usées

Les méthodes d'estimation des gisements (quantités produites) des boues de vidanges établies dans le monde (Blunier *et al.*, 2014; Defo *et al.*, 2015) et au niveau national (ONAS, 2013; Touré *et al.*, 2016) que nous avons cité dans la partie bibliographique ne sont pas adaptées dans notre zone d'étude faute de données de référence. Dans notre zone d'étude, toutes les

maisons ne sont pas équipées de toilettes. Nous avons déterminé la quantité théorique de BV par l'équation 12.

*Équation 12 : Calcul de la quantité de boues de vidange produit sur un territoire (kg/an)*

$$QBV \text{ (kg/an)} = r \text{ (g /hab./j)} * 1000^{-1} * P \text{ (hab.)} * 365,25 \text{ Avec :}$$

QBV : Quantité de BV produite par an sur un territoire donné kg MS/an.

r : ratio moyen de matières sèches de fèces 29 g.hab<sup>-1</sup>.jour<sup>-1</sup>

P : population (hab.)

## **2.6 Prélèvement et analyse chimique des PRO**

La composition des PRO peut varier dans le temps d'une saison à l'autre, et dans l'espace, d'un atelier de production à l'autre. Pour déterminer le potentiel agronomique des PRO en biofortification des cultures en Fer et Zinc, nous avons prélevé 54 échantillons dans les 17 gisements (figure 4) de PRO accessibles dans la zone d'étude. Ces échantillons de produits résiduels organiques (PRO) sont prélevés dans les villages de Mbarokounda, Malem Hodar et Sagna dans le département de Malem Hodar. La collecte des échantillons (tableau 6) aurait dû être réalisée plus tôt au moment de la préparation des sols et de la mise en culture. La crise sanitaire et l'interdiction de circulation entre régions n'ont pas permis la mise en œuvre de cette collecte au moment voulu. Elle a donc été réalisée au plus tôt à la mi-août, ne permettant malheureusement que la collecte de reste de PRO n'ayant pas été utilisés pour l'épandage sur les cultures et probablement lessivés par les abondantes précipitations de la saison. L'analyse de ces échantillons nous permettra de déterminer le potentiel agronomique (N, P et K) et le potentiel de biofortification en fer et zinc des différents gisements de PRO mobilisables pour la fertilisation dans la localité de Malem Hodar. Le Potentiel Agronomique (PA) est égal au produit du Gisement Mobilisable pour la Fertilisation (GMF) et de la Teneur Moyenne (TM) en N, P ou K (équation 13). Le Potentiel de Biofortification (PB) est égal au produit du Gisement Mobilisable pour la Fertilisation (GMF) et de la Teneur Moyenne (TM) en Fe ou Zn (équation 14).

*Équation 13 : Calcul du potentiel agronomique de GMF de la localité de Malem Hodar (kg)*

$$PB \text{ (kg)} = GMF \text{ (t)} * TM \text{ (kg/t)}$$

*Équation 14 : Calcul du potentiel de biofortification de GMF de la localité de Malem Hodar (kg)*

$$PA \text{ (kg)} = GMF \text{ (t)} * TM \text{ (kg/t)}$$

Tableau 6 : Nombre et type d'échantillons de PRO prélevés

	Fumier de bovins	Fumier d'ovins	Fumier de caprins	Fumier d'équins	Fumier d'asins	Fiente de volailles	Contenus de panses
Mbarokounda	3 éch.	3 éch.	3 éch.	3 éch.	3 éch.	-	-
	3 éch. *	3 éch. *	3 éch. *	3 éch. *	3 éch. *	-	-
Malem Hodar	-	-	-	-	-	-	3 éch.
Sagna	3 éch.	3 éch.	3 éch.	3 éch.	3 éch.	3 éch.	
Total d'échantillons	51						

(-) : 0 échantillon, (\*) : échantillons prélevés dans les gisements où Mame Makhtar Sarr, élève ingénieur agronome ayant réalisé le diagnostic des pratiques de fertilisation dans le village de Mbarokounda, avait prélevé ses échantillons.

Les déchets ménagers et les boues de vidange ne sont pas échantillonnés vu qu'ils sont inaccessibles dans la zone. Les boues de vidanges sont contenues dans des fosses septiques hermétiquement fermées par des dalles (figure 5) faites à base de ciment, de fer et du béton.



Figure 3 : Prélèvement des échantillons de contenus de panse dans l'abattoir de Malem Hodar



Figure 4: Une dalle de fosse

L'analyse des échantillons de PRO est faite au Laboratoire des Moyens Analytiques (LAMA) de Dakar. La calcination des PRO à 550° pendant 2 heures a permis de déterminer la masse de la MO pour chaque type de PRO. Le carbone total et l'azote total sont obtenus par la méthode de Dumas sur analyseur flash EA de chez Thermo Electron. Les éléments P, K, Fe et Zn sont

obtenus après minéralisation  $\text{HNO}_3+\text{H}_2\text{O}_2$ , dosage au MP AES 4210 de chez Agilent. Le ph est déterminé par le ratio en masse PRO/eau de 1/5.

# **RESULTATS ET DISCUSSION**

### **3 Résultats**

La démarche adoptée dans cette étude nous a permis de connaître les types de PRO qui sont produits dans la localité de Malem Hodar en termes de quantité, de qualité et d'accessibilité et de déterminer le potentiel agronomique et de biofortification locale.

#### **3.1 Les gisements des PRO d'origine agricole mobilisables pour la biofortification des cultures**

L'utilisation effective de la démarche en huit étapes présentées dans la figure 2, dans le cas de la production végétale et de l'élevage, nous a permis d'identifier et de quantifier le gisement de PRO d'origine agricole potentiellement mobilisable pour la biofortification des cultures dans la localité de Malem Hodar. Le calcul des quantités de biomasses résiduelles sont organisés dans des feuilles de calcul liées entre elles par les équations de calcul présentées dans la figure 2. Ces feuilles de calcul (données de base) sont composées des superficies (ha), des Rendement (kg/ha), des indices résiduels, du Gisement Brut, des Valorisations locales et du Gisement Mobilisable pour la fertilisation (GMF).

##### **3.1.1 La production brute de biomasses résiduelles issue des cultures**

Les spéculations de la localité de Malem Hodar comprennent les cultures telles que le mil, le sorgho, le maïs, l'arachide, le niébé et le sésame pour la campagne agricole 2018/2019. Le tableau 7 représente la production économique correspondante (kg MS/an) et la quantité brute de biomasses résiduelles issue des cultures (kg MS/an) obtenue par l'application de l'équation 1 avec les indices de résidus du tableau 4. Pour le reste des autres spéculations cultivées sur le territoire de Malem Hodar telles que l'aubergine, le bissape (hibiscus), le gombo, le melon et la tomate, sont produits en faible quantité dans la localité et leurs productions économiques ne sont pas disponibles à l'échelle du village au niveau de la DAPSA ni au niveau du Service Départemental de Développement Rural. Les interviews faites auprès des agriculteurs dans les différents villages nous ont permis d'avoir plus de détails sur les modes de production (association des cultures comme le niébé et l'arachide, la plus grande partie des champs de case est réservée au maïs, épandage du fumier des animaux sur les parcelles de mil et de maïs, etc.), de récolte et d'utilisation de la biomasse résiduelle (aliments de bétails, construction, ...).

Tableau 7 : Production économique et quantité brute de biomasses résiduelles issues des cultures pour la campagne 2018/2019.

Prod = production, Rdt = rendement		<b>Malem Hodar</b>	<b>Mbarokounda</b>	<b>Taïba Mbadianène</b>	<b>Sagna</b>	<b>Diaby</b>	<b>Total</b>
<b>Mil</b>	Surface (ha)	710	142	48	159	99	
	Rdt (kg MS/ha/an)	600	640	609	598	609	
	Prod (kg MS/an)	426 000	90 88	29 088	95 085	60 291	
	<b>QBr (kg MS/an)</b>	<b>596 287</b>	<b>127 080</b>	<b>40 909</b>	<b>133 099</b>	<b>84 615</b>	<b>981 990</b>
<b>Sorgho</b>	Surface (ha)	813	126	39	131	93	
	Rdt (kg MS/ha/an)	850	718	865	815	830	
	Prod (kg MS/an)	691 050	90 468	33 735	106 765	77 190	
	<b>QBr (kg MS/an)</b>	<b>504 576</b>	<b>66 080</b>	<b>24 899</b>	<b>77 911</b>	<b>56 214</b>	<b>729 680</b>
<b>Maïs</b>	Surface (ha)	317	95	22	112	52	
	Rdt (kg MS/ha/an)	950	875	923	889	915	
	Prod (kg MS/an)	301 150	83 125	20 306	99 568	47 580	
	<b>QBr (kg MS/an)</b>	<b>295 035</b>	<b>81 081</b>	<b>19 731</b>	<b>97 323</b>	<b>46 977</b>	<b>540 147</b>
<b>Niébé</b>	Surface (ha)	127	32	11	41	26	
	Rdt (kg MS/ha/an)	400	395	406	376	407	
	Prod (kg MS/an)	50 817	12 450	4 424	15 254	10 661	
	<b>QBr (kg MS/an)</b>	<b>98 078</b>	<b>24 029</b>	<b>8 539</b>	<b>29 440</b>	<b>20 576</b>	<b>180 661</b>
<b>Arachide</b>	Surface (ha)	1 415	198	92	247	157	
	Rdt (kg MS/ha/an)	1 200	1 125	1 098	1 103	1 039	
	Prod	1 697	222 333	100 658	272 901	163 296	

	(kg MS/an)	400					
	QBr (kg MS/an)	<b>2 885</b> <b>580</b>	<b>377 965</b>	<b>171 119</b>	<b>463 931</b>	<b>277 604</b>	<b>4 176 199</b>
<b>Sésame</b>	Surface (ha)	202	47	16	65	19	
	Rdt (kg MS/ha/an)	350	294	325	355	267	
	Prod (kg MS/an)	70 694	13 899	5 225	23 042	5 160	
	QBr (kg MS/an)	<b>91 902</b>	<b>18 069</b>	<b>6 792</b>	<b>29 954</b>	<b>6 708</b>	<b>153 427</b>

Source : Direction de l'Analyse et de la Prévision des statistiques Agricole (DAPSA, 2019)

La Quantité Brute de biomasses résiduelles (QBr) est calculée en utilisant l'équation 1 qui tient compte du rendement et l'indice de résidus par type de culture. Ce modèle de calcul a été élaboré pour estimer les quantités de résidus de culture générées par les différentes spéculations de la localité. Ainsi nous avons estimé la quantité de biomasses résiduelles produite sur la zone d'étude pour les cultures citées ci-dessus à 6 762 104 kg MS/an. La quantité de biomasse résiduelle issue des cultures produite dans la zone d'étude varie d'un village à l'autre mais aussi en fonction du type de culture (tableau 7). Le gisement brut des fanes d'arachide est estimé à 4 176 199 kg de MS.

Le gisement brut des résidus de culture de la localité de Malem Hodar est réparti en des différentes proportions selon les types de cultures (figure 7).

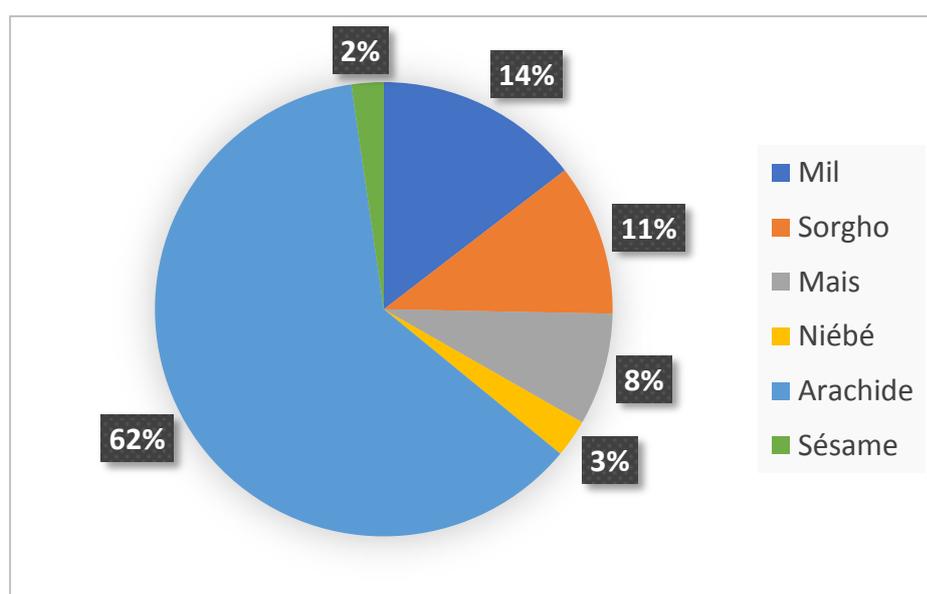


Figure 5 : Proportions des gisements bruts des résidus de cultures de la localité de Malem Hodar

### **3.1.2 Valorisation locale et production mobilisable de biomasses résiduelles issues des cultures**

Dans les milieux ruraux comme dans notre zone d'étude, plusieurs usages sont appliqués à la biomasse résiduelle issue des cultures. La biomasse résiduelle issue de l'arachide, du niébé et du maïs est aussi valorisée sous les formes d'aliment et de litière pour le bétail (brut ou transformé). L'usage comme matériau de construction (haies mortes, palissade) est généralement fait sur les tiges du mil, du sorgho et du sésame. Une étude de ces différentes formes d'usage de la biomasse résiduelle auprès des acteurs nous permet aussi de disposer des références précises sur les quantités qui sont localement valorisées.

Les interviews faites auprès des agriculteurs des cinq villages nous ont permis d'estimer le taux de valorisation locale par type de culture et par village.

Le gisement mobilisable des résidus de cultures pour la fertilisation est estimé à 965 769 kg de MS/an dans la localité de Malem Hodar et à 51 404 kg de MS/an dans village de Mbarokounda. Les quantités de résidus issus du niébé et de l'arachide sont totalement valorisées dans la zone. Seuls les résidus du mil, du sorgho, du maïs et du sésame sont mobilisables pour la fertilisation des cultures. Les résidus du mil constituent la majeure partie de la biomasse mobilisable avec 540 t de MS dans la localité.

Tableau 8 : Gisements mobilisables des résidus de cultures pour la fertilisation des cultures dans la localité de Malem Hodar (kg/an).

		<b>Malem Hodar</b>	<b>Mbarokounda</b>	<b>Taïba Mbadianène</b>	<b>Sagna</b>	<b>Diaby</b>	<b>Total</b>
<b>Mil</b>	QBr (kg MS/an)	596 287	127 080	40 909	133 099	84 615	
	TVL	0,36	0,75	0,57	0,53	0,45	
	<b>QRMF (kg MS/an)</b>	<b>381 642</b>	<b>31 770</b>	<b>17 591</b>	<b>62 557</b>	<b>46 538</b>	<b>540 076</b>
<b>Sorgho</b>	QBr (kg/an)	504 576	66 080	24 899	77 911	56 214	
	TVL	0,51	0,78	0,61	0,79	0,67	
	<b>QRMF (kg MS/an)</b>	<b>247 242</b>	<b>14 538</b>	<b>9 711</b>	<b>16 361</b>	<b>18 551</b>	<b>306 402</b>
<b>Mais</b>	QBr (kg MS/an)	295 035	81 081	19 731	97 323	46 977	
	TVL	0,91	0,98	0,97	0,88	0,75	
	<b>QRMF (kg MS/an)</b>	<b>26 553</b>	<b>1 622</b>	<b>592</b>	<b>11 679</b>	<b>11 744</b>	<b>52 190</b>
<b>Niébé</b>	QBr (kg MS/an)	98 078	24 029	8 539	29 440	20 576	
	TVL	1	1	1	1	1	
	<b>QRMF (kg MS/an)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Arachide</b>	QBr (kg MS/an)	2 885 580	377 965	171 119	463 931	277 604	
	TVL	1	1	1	1	1	
	<b>QRMF (kg MS/an)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Sésame</b>	QBr (kg MS/an)	91 902	18 069	6 792	29 954	6 708	
	TVL	0,34	0,75	0,65	0,46	0,48	
	<b>QRMF (kg MS/an)</b>	<b>60 656</b>	<b>4 517</b>	<b>2 377</b>	<b>16 175</b>	<b>3 488</b>	<b>87 214</b>

### 3.2 Gisement mobilisable de PRO issu de l'élevage pour la biofortification des cultures

#### 3.2.1 Le cheptel de la localité de Malem Hodar

Les interviews faites au niveau du Ministère de l'Élevage et de la Production Animale (MEPA) et du Service Régionale de l'Élevage de Kaffrine (SREK) montrent que les effectifs du cheptel et de la volaille ne sont disponibles qu'à l'échelle du département.

L'analyse de la composante du cheptel obtenu auprès du SEMV de Malem Hodar et auprès des producteurs des cinq villages enquêtés (tableau 1), enregistrée au cours de l'année 2019, a fait ressortir les proportions suivantes :

- Le nombre total d'animaux en production est estimé à 43 042 têtes
- Le gros bétail est estimé à 11 300 UBT, et est composé de 69,5% de bovins, 10,8% d'équins, 7,4% d'ovins, 10,8% de caprins et 1,5% d'asins.
- La volaille est évaluée à 15 330 Equivalent Poule Adulte (EPA)

Les effectifs par type de cheptel sont présentés dans la figure 8 et les effectifs équivalents en UBT pour le bétail et en EPA pour la volaille sont présentés dans la figure 9.

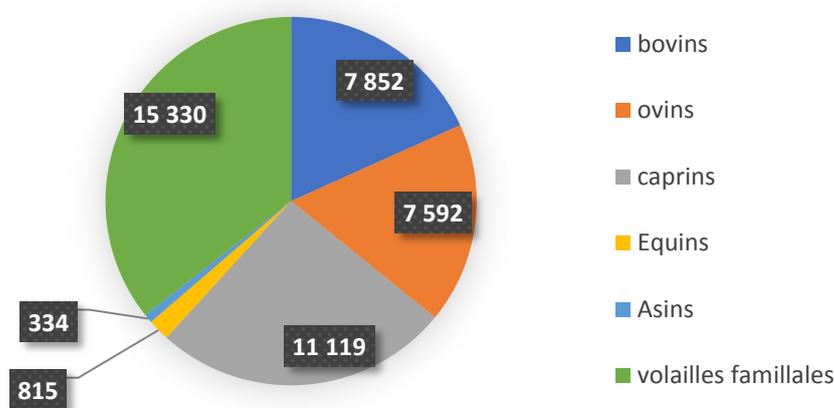


Figure 6 : Effectifs bruts du cheptel de la localité de Malem Hodar 2019

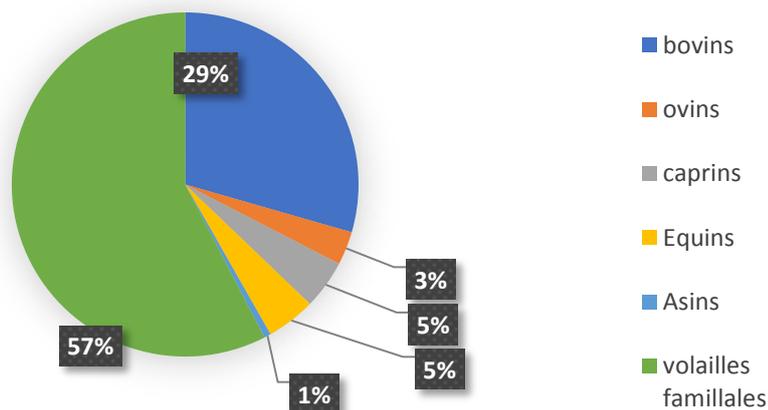


Figure 7 : Effectifs du cheptel en UBT pour le bétail de la localité de Malem Hodar 2019

### 3.2.2 Les références agronomiques relatives à la production des déjections

A ce niveau, il s'agit de déterminer les différentes pratiques locales d'élevage mises en œuvre par les éleveurs et qui peuvent influencer la production de déjections en termes de quantité et de qualité. Ainsi la visite de prospection de la localité nous montre que deux pratiques essentielles ont des effets directs sur la production de déjections animales.

#### 1. Mode de logement et types de déjections

Le mode de logement des animaux, et l'apport de litière déterminent la nature des déjections produites qui sont soit solides (fumiers) soit pâteuses ou liquides (lisiers). Dans la zone, les ovins, les caprins, les équins, les asins sont logés dans un coin de la maison entouré d'une clôture ou non. La volaille est enfermée dans de petites cases faites à base de tiges de *Guiera senegalensis* durant la nuit pour les protéger contre les prédateurs. Les bovins sont parqués la nuit à l'extérieur, dans les champs pendant 15 jours avant d'être déplacés ou rarement à côté des concessions durant la saison sèche.

#### 2. La durée de présence des animaux à l'étable

La durée de présence des animaux à l'étable, obtenue auprès des chefs de ménages des villages enquêtés, permet de distinguer les quantités de déjections récupérables qui sont émises sur place (parc, bâtiment...) et celles émises aux champs et sur parcours pendant que les animaux pâturent. Cette durée varie d'un village à l'autre et nous avons pu la déterminer en soustrayant l'heure de départ des animaux de l'heure de retour à l'étable. La durée de présence des animaux évaluée en heure puis convertie en nombre de jours équivalents (Nje) est représentée par le tableau 9.

Tableau 9 : Durée de présence des animaux à l'étable par jour

Types d'animaux	Bovins		Ovins/Caprins		Equins		Asins		Volaille	
	Nhe (h)	Nje (j)	Nhe (h)	Nje (j)	Nhe (h)	Nje (j)	Nhe (h)	Nje (j)	Nhe (h)	Nje (j)
Mbarokounda	14,5	0,604	16	0,667	24	1	13	0,542	12	0,5
Taïba Mbadianène	14	0,583	17	0,708	24	1	13	0,542	12	0,5
Diaby	15	0,625	16	0,667	24	1	13	0,542	12	0,5
Sagna	14	0,583	15	0,625	24	1	13	0,542	12	0,5
Malem Hodar	14,5	0,604	15,5	0,646	24	1	13	0,542	12,5	0,5

### 3.2.3 Quantités Brutes de Déjection (QBD) émises sur la localité

Les quantités de déjection produites varient en fonction du poids de l'animal, des effectifs et du mode d'élevage. L'application de l'équation 2 aux effectifs des animaux issus du SEMV de Malem Hodar et aux ratios de production de biomasse fécale (tableau 5) nous a permis d'estimer le gisement brut de déjections en tonnes de MS produit par l'ensemble du cheptel présent dans la localité (tableau 10).

Tableau 10 : Gisement brut de déjections animales de la localité de Malem Hodar

		Malem Hodar	Mbarokounda	Taïba Mbadianène	Sagna	Diaby	Transits de la zone	Total
Bovins	Effectif	731	750	120	803	190	5 258	7 852
	<b>QBD (T MS/an)</b>	<b>721</b>	<b>740</b>	<b>118</b>	<b>792</b>	<b>187</b>	<b>1 917</b>	<b>4 475</b>
Ovins	Effectif	1 021	735	208	591	273	4 764	7 592
	<b>QBD (T MS/an)</b>	<b>12</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>21</b>	<b>55</b>
Caprins	Effectif	1 679	970	392	1 523	41	6 143	11 119
	<b>QBD (T MS/an)</b>	<b>20</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>18</b>	<b>5</b>	<b>27</b>	<b>87</b>
Equins	Effectif	120	250	45	309	91	0	815
	<b>QBD (T MS/an)</b>	<b>178</b>	<b>370</b>	<b>67</b>	<b>457</b>	<b>135</b>	<b>0</b>	<b>1 206</b>
Asins	Effectif	61	102	26	93	52	0	334
	<b>QBD (T MS/an)</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>13</b>	<b>46</b>	<b>26</b>	<b>0</b>	<b>165</b>
Volailles familiales	Effectif	10 540	375	945	2 580	890	0	15 330
	<b>QBD (T MS/an)</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>15</b>

Le gisement brut des déjections animales dans la zone d'étude est estimé à 6 003 tonnes de MS au cours de l'année 2019. Les équins et les asins ont émis respectivement 1 206 et 165 tonnes de MS/an de déjections animales. Les ovins, caprins et la volaille ont fourni la plus faible quantité de déjections animales ; leurs productions correspondent respectivement à 55 ; 87 ; et 15 tonnes de MS/an. La figure 10 représente la répartition en pourcentage des gisements bruts des déjections animales par types d'animaux de la localité de Malem Hodar.

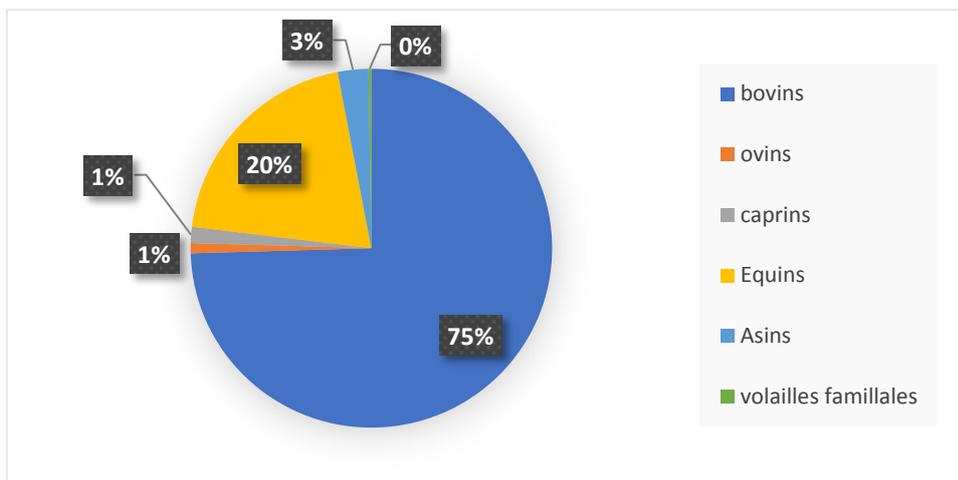


Figure 8 : Proportions du gisement brut de déjections animales en tonnes MS/an de la localité de Malem Hodar

L'analyse de la figure 10 montre bien que les bovins produisent la plus grande partie du gisement brut de déjections animales de la zone. Ainsi on constate le classement hiérarchique suivant des déjections Gisements Bruts : Bovins > Equins > Asins > Ovins > Caprins. Le gisement brut des déjections bovines est estimé à 4 475 tonnes de MS dans l'ensemble de la localité étudiée. Cette valeur de la production totale de déjections bovines représente la quantité totale des déjections produite par les bovins transits de la zone et ceux des villages enquêtés. Les animaux transhumants de la zone sont constitués de bovins, d'ovins et de caprins. Les bovins qui transitent dans la zone durant la saison sèche produisent les 42,8% du gisement brut des déjections bovines du territoire.

### 3.2.4 Quantité de Déjections animales Maîtrisables

A partir du gisement brut calculé précédemment, les Quantités de Déjections animales Maîtrisables (QDM) ou gisement maîtrisable qui, se distinguent du gisement brut par son caractère stockable et accessible, ont été obtenu en tenant compte de la durée de présence des animaux à l'étable (tableau 9). Le tableau 11 représente les Quantités de Déjections animales Maîtrisables produites par les animaux des cinq villages enquêtés de la localité de Malem Hodar.

Tableau 11 : Gisements maitrisables de déjections animales en tonnes MS/an de la localité de Malem Hodar

		Malem Hodar	Mbarokounda	Taïba Mbadianène	Sagna	Diaby	Transits de la zone	Total
Bovins	QBD (T MS/an)	721	740	118	792	187	1 917	4 475
	Nje	0,604	0,604	0,583	0,583	0,625	0,5	
	<b>QDM (T MS/an)</b>	<b>435</b>	<b>447</b>	<b>69</b>	<b>462</b>	<b>117</b>	<b>958</b>	<b>2 488</b>
Ovins	QBD (T MS/an)	12	9	3	7	3	21	55
	Nje (j)	0,646	0,667	0,708	0,625	0,667	0,5	
	<b>QDM (T MS/an)</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>33</b>
Caprins	QBD (T MS/an)	20	12	5	18	5	27	87
	Nje (j)	0,646	0,667	0,708	0,625	0,667	0,5	
	<b>QDM (T MS/an)</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>13</b>	<b>3</b>	<b>14</b>	<b>54</b>
Equins	QBD (T MS/an)	178	370	67	457	135	0	1 206
	Nje (j)	1	1	1	1	1		
	<b>QDM (T MS/an)</b>	<b>178</b>	<b>370</b>	<b>67</b>	<b>457</b>	<b>135</b>	<b>0</b>	<b>1 206</b>
Asins	QBD (T MS/an)	30	50	13	46	26	0	165
	Nje	0,542	0,542	0,542	0,542	0,542		
	<b>QDM (T MS/an)</b>	<b>16</b>	<b>27</b>	<b>7</b>	<b>25</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>89</b>
Volailles familiales	QBD (T MS/an)	10	0	1	3	1	0	15
	Nje	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	
	<b>QDM (T MS/an)</b>	<b>5</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>8</b>
<b>QDM total (T MS/an)</b>								<b>3 878</b>

Le gisement total maitrisable des déjections animales émis par le bétail et la volaille sur le territoire étudié est évalué à 3 878 tonnes de MS/an et supérieur à la moitié du gisement brut.

Les quantités de déjections maîtrisables produites par l'ensemble du bétail sont estimées à 3 870 tonnes de MS. Par contre la volaille produit une faible quantité de déjections maîtrisable évaluée à 8 tonnes de MS sur l'ensemble de la localité. Les bovins (locaux et transits de la zone) et les équins produisent la plus grande partie du gisement maîtrisable et fournissent respectivement 2 488 et 1 206 tonnes de MS de déjections animales. La figure 11 représente la répartition en pourcentage des gisements maîtrisables des déjections animales par types d'animaux de la localité de Malem Hodar.

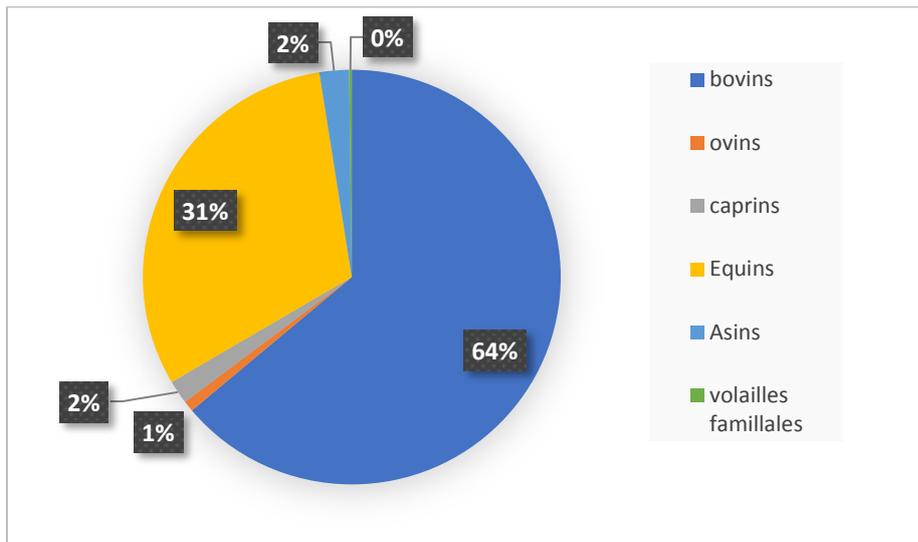


Figure 9 : Proportions du gisement maîtrisable de déjections animales en tonnes MS/an de la localité de Malem Hodar

L'analyse de la figure 11 fait apparaître que les bovins et les équins produisent les 95% du gisement maîtrisable de déjection de la localité de Malem Hodar.

#### 3.2.4.1 Valorisations locales

Les déjections animales et en particulier celles des bovins et équins sont généralement valorisées en milieu rural. Dans notre zone d'étude, l'utilisation du fumier comme engrais occupe une place importante dans le processus d'amendement des sols. Tous les agropasteurs enquêtés utilisent le fumier pour amender leurs champs. Ces déjections mélangées au refus de fourrages piétinés et humidifiés par l'urine, sont stockées à côté des animaux avant d'être acheminé par chargement de charrette jusqu'aux champs (figure 12). Dans les différents villages enquêtés, les agropasteurs disent que les quantités de déjections émises sur le territoire ne permettent d'amender toutes les espaces cultivées. Certains de ces agropasteurs qui ont les moyens achètent de l'engrais chimique pour fertiliser les espaces restants de leurs champs.

Dans la zone, la quantité des déjections animales valorisée en tant que combustible ou matériau de construction est négligeable. Ainsi toute la quantité maîtrisable des déjections animales produite dans la localité de Malem Hodar est mobilisable pour la fertilisation des cultures.



Figure 10 : Chargement des fumiers de cheval sur la charrette

### 3.2.5 Gisement de Déjections Mobilisable pour la fertilisation dans le village de Mbarokounda

Le gisement de déjections animales mobilisable pour la fertilisation est la quantité de déjections stockée en un milieu bien déterminé, non valorisée et que l'éleveur accepte sa cession à l'agriculteur (cas des animaux transhumants) ou que l'agropasteur peut aller épandre sur ces parcelles. Le Gisement de Déjections Mobilisable (GDM) pour la fertilisation est obtenu en soustrayant les usages/valorisations actuelles au gisement maîtrisable (équation 9). Pour l'ensemble des villages enquêtés, aucun parmi eux produit une quantité suffisante de déjections animales pour la fertilisation de leurs terres. Ainsi les villages qui sont autour de Mbarokounda ne peuvent pas fournir de déjections animales à ce dernier afin qu'il comble le déficit de matière organique. Pour biofortifier les cultures en fer et zinc avec les PRO issus de l'élevage, les agriculteurs du village de Mbarokounda n'ont que les quantités de déjections mobilisables produites par le cheptel du village et les transits de la zone.

La figure 13 représente les proportions des gisements de déjections animales mobilisables pour la fertilisation par type de cheptel dans le village de Mbarokounda.

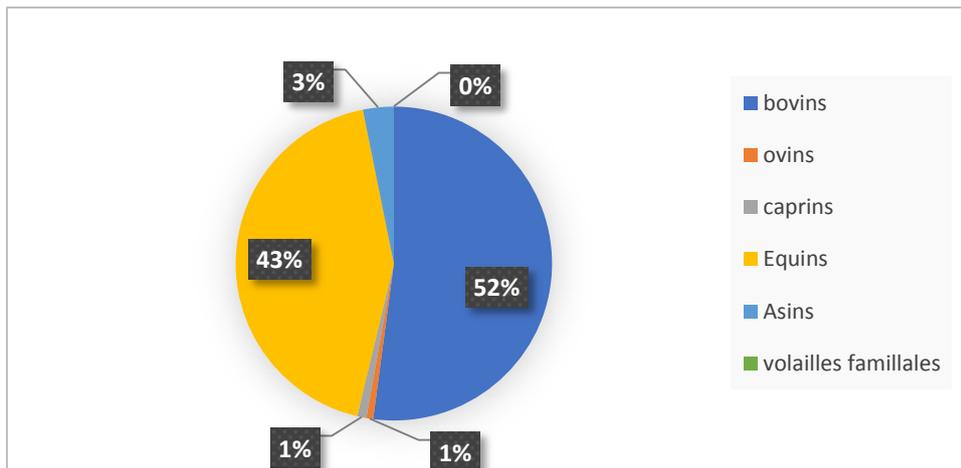


Figure 11 : Proportions du gisement de déjections animales mobilisables pour la fertilisation en tonnes MS/an produit par les animaux de Mbarokounda

L'analyse de la figure 13 fait apparaître le classement hiérarchique suivant des gisements de déjection mobilisables : Bovins > Equins > Asins > Caprins > Ovins.

Environ 858 tonnes de MS de déjections mobilisables pour la fertilisation sont produites par les animaux du village de Mbarokounda. Les déjections bovines sont les plus importantes et représentent 52% (447 tonnes) du tonnage émis par l'ensemble du gisement mobilisable. Le reste de ce gisement est réparti à raison de 42% (370 tonnes) pour les équins, 3% (27 tonnes) pour les asins, 1% (6 tonnes) pour les ovins, et 1% (8 tonnes) pour les caprins. Ces pourcentages exhibent les types de cheptel qui produisent l'essentiel de la quantité de déjections animales mobilisable pour la biofortification des cultures. Pour la volaille, les quantités de fientes produites ne sont pas mobilisables. Les quantités de fientes produites dans le village sont faibles et ne sont pas stockées. Ces quantités de fèces provenant de la volaille sont directement épandues dans les champs de case. La production animale est familiale pour les ovins, les caprins et la volaille sur l'ensemble de la localité, ce qui rend les quantités de déjections émises par site de production souvent fragmentaire et très dispersée.

### 3.3 Quantité de PRO issus des activités agroindustrielles susceptibles d'être utilisés pour la fertilisation

Les quantités de PRO issues des activités agroindustrielles de la zone accessibles et pouvant être utilisées pour la fertilisation des cultures sont produites dans l'abattoir de Malem Hodar.

#### 3.3.1 Evaluation des effectifs d'abattage dans l'unité d'abattage de Malem Hodar

Le nombre de bovins, ovins et caprins abattus ont été obtenus auprès du gérant de l'abattoir de Malem Hodar pour la période de l'année 2019. La figure 14 présente les statistiques d'abattage des différentes espèces prises en compte dans le cadre de cette étude.

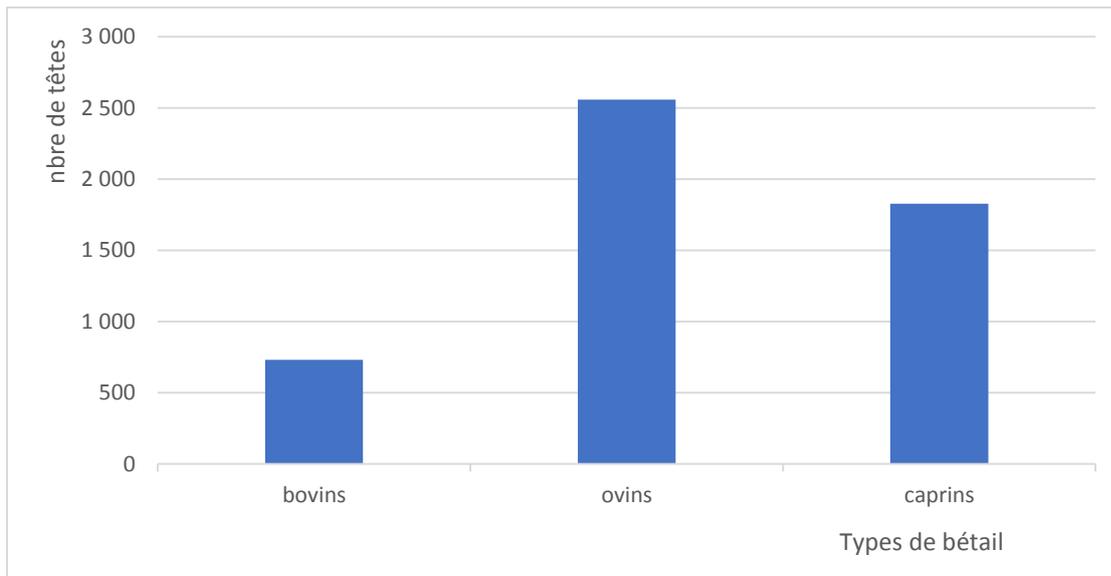


Figure 12 : Effectifs des animaux abattus dans l'abattoir de Malem Hodar par an

On peut noter que le nombre d'animaux abattus par an est évalué à 2 557 têtes pour les ovins, 1 826 têtes pour les caprins et 731 têtes pour les bovins.

### 3.3.2 Quantité de Déchets d'Abattoir (QDA) produite dans l'abattoir de Male Hodar

L'application de l'équation 10 aux effectifs des animaux abattus dans l'abattoir de Malem Hodar, nous a permis d'estimer la quantité brute de contenus de panse produite par an.

La figure 15 représente les quantités de déchets d'abattoir (contenu de panse) produits par les bovins, ovins et caprins abattus dans l'abattoir de Malem Hodar par an.

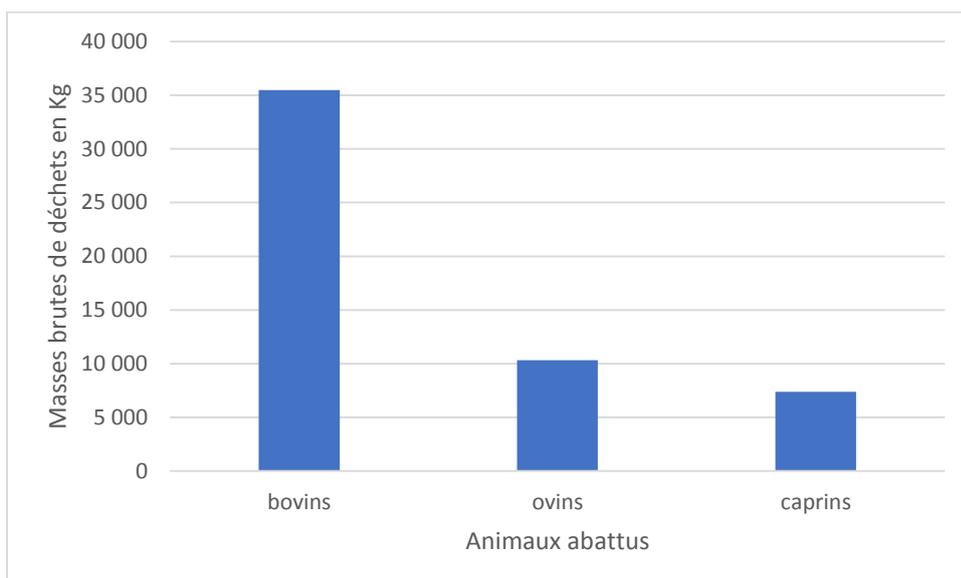


Figure 13 : Gisements bruts des contenus de panse produits dans l'abattoir de Malem Hodar

Le gisement total de déchets produit par l'ensemble des animaux abattus durant l'année 2019 dans l'abattoir de Malem Hodar est estimé à 53 165 kg de masse brute. De l'analyse de la figure 16, on s'aperçoit que les gisements de déchets des contenus de panse des différentes espèces varient entre 7 371 et 35 473 kg de masse brute. Les bovins, ovins et caprins produisent respectivement 67% ; 19% et 14% de la quantité totale de contenus de panse. Aucune valorisation (épandage sur les champs, méthanisation ou compostage) n'est faite sur ce gisement de déchets. D'après les résultats de l'analyse chimique de ces déchets nous pourrions avoir une idée de leur utilisation dans la fertilisation. Ce gisement pourrait être utilisé par les agriculteurs de Mbarokounda pour la biofortification des cultures.

### **3.4 Quantités de PRO d'origine municipale**

La gestion des ordures ménagères dans la localité de Malem Hodar relève un manque de moyens et de matériels drastique des collectivités locales. Dans les villages Mbarokounda, Sagna, Taïba Mbadianène et Diaby, la gestion des déchets ménagers est assurée par les femmes qui les stockent dans des sacs pendant 2 à 7 jours avant de les acheminer vers le dépôt d'ordures ou bien elles les stockent en tas auprès des concessions. On constate que la responsabilité de la gestion des déchets dévolue au maire uniquement à Malem Hodar. La collecte des déchets est faite par trois (3) charrettes qui font le tour des maisons et des restaurants pour ramasser les ordures. Ces charretiers sont aussi responsables du nettoyage du marché hebdomadaire de Malem Hodar. Les interviews faites auprès des charretiers montrent que les déchets ménagers produits ne sont pas triés et leur fraction fermentescible est non mobilisable pour la fertilisation.

L'analyse des différentes formes de gestion classique des déchets solides fait ressortir une certaine déficience due à l'irrégularité de la collecte, de l'insuffisance de la couverture territoriale induite par la typologie de l'habitat, de l'inexistence d'un système de traitement efficace.

La mise en œuvre de l'équation 13 en prenant le ratio de production de déchets organiques de la région de Kaffrine, nous a permis d'estimer le gisement théorique de déchets organiques de la localité de Malem Hodar (figure 16).

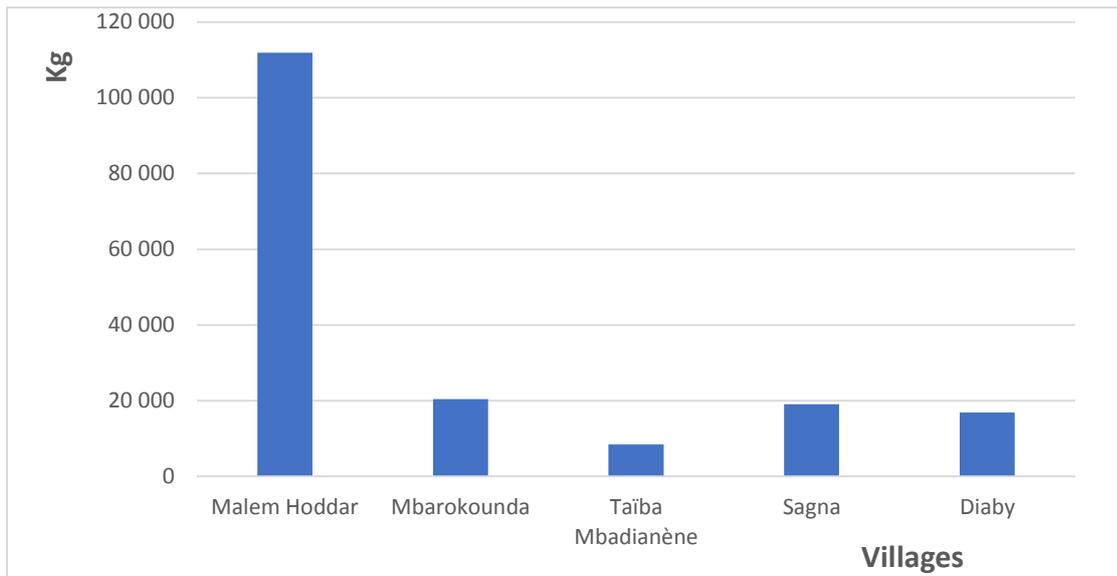


Figure 14 : Gisement théorique de la fraction fermentescible des ordures ménagères de la localité de Malem Hodar

L'analyse de la figure 16 montre que le village Taïba Mbadianène a le gisement théorique de déchets organiques le plus faible des cinq villages étudiés. Le gisement de la fraction fermentescible des déchets solides de Malem Hodar est égale environ à 100 tonnes de MS. La somme des gisements de la fraction fermentescible déchets ménagers retenues dans le cadre de l'évaluation, est une surestimation de la quantité totale de déchets ménagers produite par les différents villages, au cours de l'année 2019, en comparant le ratio de production de la région et la quantité trouvée sur le terrain. Une campagne de caractérisation des ordures ménagères dans chaque village serait donc nécessaire pour une estimation plus nette des gisements de la fraction fermentescible déchets.

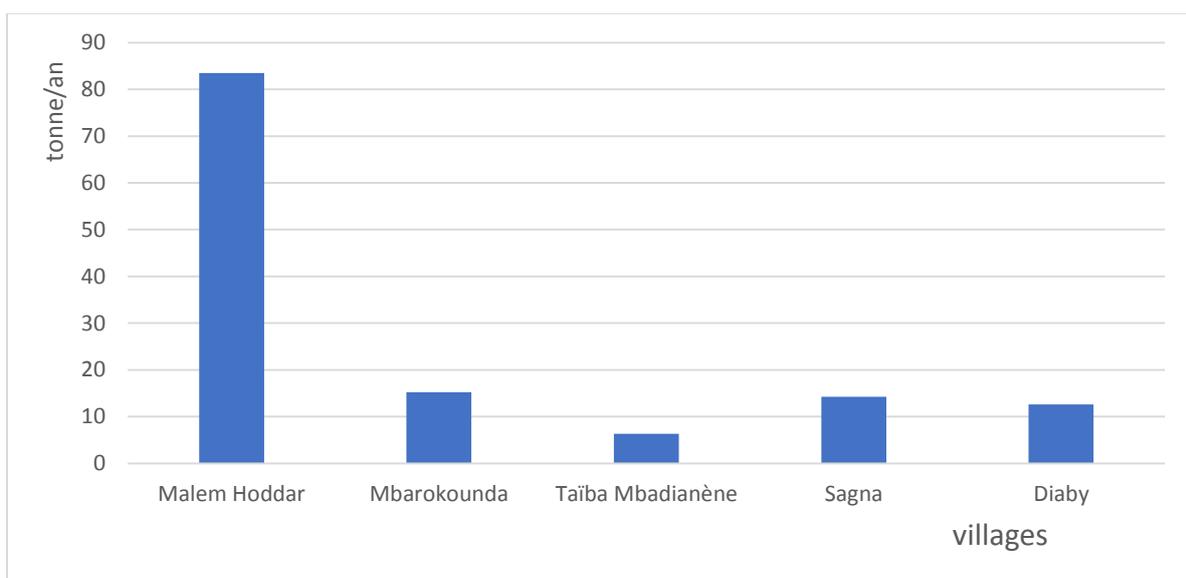


Figure 15 : Gisements bruts des boues de vidange produits dans la localité de Malem Hodar

La figure 17 représente les gisements bruts de BV produits par la population de la localité de Malem Hodar estimés à 132 tonnes de MS par an.

### **3.5 Caractérisation et potentialité agronomique des PRO de la localité de Malem Hodar**

Les résultats des analyses de paramètres physico-chimiques des PRO déterminés dans le cadre de cette étude sont rapportés dans le tableau 12. Des paramètres globaux relatifs aux quantités de matière sèche (MS) et de matière organique (MO) contenus dans les PRO sont exprimés en kg/t. La teneur en macroéléments des PRO (carbone, azote, phosphore et potassium) et en microéléments (fer et zinc) des PRO varie en fonction du type de fumier et s'exprime en kg/t de MF. On constate que la fiente de volaille a la plus grande teneur en carbone, azote, phosphore et potassium par rapport aux autres fumiers. La litière utilisée pour le support des poules est laissée dans les poulaillers durant une année avant d'être raclée, ce qui favorise sa décomposition totale. La teneur la plus importante en fer et zinc se trouve dans les fumiers des équins. Les contenus de panse sont les PRO les plus pauvres en azote comparés aux fumiers des autres animaux. Tous les PRO ont des teneurs en fer et en zinc inférieur aux seuils réglementaires en vigueur par la norme NF U44-051, pour les fumiers et les composts. Les pH et les rapports C/N des différents types de PRO sont représentés dans le tableau 13. Le pH varie entre 6,97 et 8,27 et le C/N de 9,76 à 22,11. Les fumiers de bovins, d'ovins, de caprins, de la volaille et les contenus de panse ont tous un rapport C/N inférieur à 15. Ces matières organiques fertilisantes, avec un rapport C/N < 15 libèrent des nitrates en quelques jours après épandage. Les fumiers des équins et asins ont tous les un rapport C/N supérieur 15. Ces fumiers peuvent causer une immobilisation temporaire de l'azote et mettre plusieurs semaines avant de libérer des nitrates dans le sol. Cela peut être lié à la quantité importante de litière qui se trouve dans les fumiers d'équins et d'asins.

Tableau 12 : Caractéristique physico-chimique des PRO de la localité de Malem Hodar.

		<b>MS</b> <b>(kg/t)</b>	<b>MO</b> <b>(kg/t)</b>	<b>Ct</b> <b>(kg/t)</b>	<b>Nt</b> <b>(kg/t)</b>	<b>P</b> <b>(kg/t)</b>	<b>K</b> <b>(kg/t)</b>	<b>Fe</b> <b>(kg/t)</b>	<b>Zn</b> <b>(kg/t)</b>
Fumier bovin	Moyenne	<b>266,57</b>	<b>66,10</b>	<b>30,78</b>	<b>2,39</b>	<b>0,62</b>	<b>0,82</b>	<b>1,27</b>	<b>0,01</b>
	Médiane	290,81	50,86	21,12	1,91	0,54	0,65	1,13	0,01
	Min	213,01	40,49	16,88	1,46	0,40	0,34	0,91	0,01
	Max	295,88	106,95	54,34	3,81	0,92	1,46	1,77	0,01
	Ecart-type	46,448	35,756	20,513	1,250	0,268	0,577	0,447	0,004
Fumier ovin	Moyenne	<b>749,94</b>	<b>267,13</b>	<b>116,90</b>	<b>9,12</b>	<b>1,52</b>	<b>8,05</b>	<b>3,12</b>	<b>0,03</b>
	Médiane	840,91	289,80	138,53	9,95	1,47	7,31	2,92	0,02
	Min	459,45	112,32	44,00	4,74	0,46	4,66	1,18	0,01
	Max	949,46	399,26	168,18	12,66	2,63	12,18	5,26	0,06
	Ecart-type	257,360	144,806	64,855	4,022	1,085	3,814	2,045	0,026
Fumier caprin	Moyenne	<b>590,26</b>	<b>61,18</b>	<b>23,58</b>	<b>2,42</b>	<b>0,51</b>	<b>0,89</b>	<b>3,19</b>	<b>0,02</b>
	Médiane	741,92	59,61	21,45	2,40	0,56	0,70	4,02	0,01
	Min	228,67	57,92	20,68	2,00	0,35	0,57	1,27	0,01
	Max	800,20	66,01	28,62	2,86	0,61	1,41	4,27	0,03
	Ecart-type	314,501	4,267	4,381	0,432	0,138	0,450	1,668	0,011
Fumier équin	Moyenne	<b>721,43</b>	<b>174,99</b>	<b>77,18</b>	<b>4,77</b>	<b>1,11</b>	<b>3,44</b>	<b>4,29</b>	<b>0,03</b>
	Médiane	727,14	176,89	74,44	4,80	0,99	3,50	4,05	0,02
	Min	647,89	169,29	71,70	4,50	0,93	2,66	3,67	0,02
	Max	789,27	178,79	85,39	5,02	1,40	4,16	5,15	0,05
	Ecart-type	70,866	5,029	7,243	0,260	0,257	0,752	0,770	0,017
Fumier asin	Moyenne	<b>576,66</b>	<b>195,38</b>	<b>87,54</b>	<b>4,07</b>	<b>0,74</b>	<b>1,45</b>	<b>3,56</b>	<b>0,02</b>
	Médiane	540,20	192,96	79,11	4,25	0,64	1,00	4,19	0,02
	Min	530,35	163,95	75,51	3,51	0,60	0,98	1,99	0,02
	Max	656,44	229,25	108,00	4,45	0,99	2,37	4,51	0,02
	Ecart-type	70,127	32,717	17,812	0,498	0,214	0,799	1,375	0,002
Fiente Volailles	Moyenne	<b>744,89</b>	<b>543,66</b>	<b>225,89</b>	<b>20,70</b>	<b>6,05</b>	<b>12,99</b>	<b>1,06</b>	<b>0,152</b>
Contenus panse	Moyenne	<b>291,29</b>	<b>64,35</b>	<b>26,26</b>	<b>1,96</b>	<b>1,26</b>	<b>1,21</b>	<b>1,23</b>	<b>0,010</b>

Tableau 13 : Paramètres physico-chimiques des PRO

	Fumier bovins	Fumier Ovins	Fumier Caprins	Fumier Equins	Fumier Asins	Fiente volailles	Contenus panse
pH	7,98	8,27	7,9	8	8,03	6,97	8,17
C/N	12,29	12,16	9,76	16,15	22,11	10,91	13,37

La figure 18 représente les rendements en matière organique des PRO de la localité de Malem Hodar. Elle montre que la fiente de volaille a le plus grand rendement en matière organique par rapport aux autres types de fumier, suivit du fumier d'ovin et d'asin qui ont tous un rendement supérieur ou égal 200 kg/t. Les contenus de panse, les fumiers de bovin et de caprin ont les plus faibles rendements en matière organique.

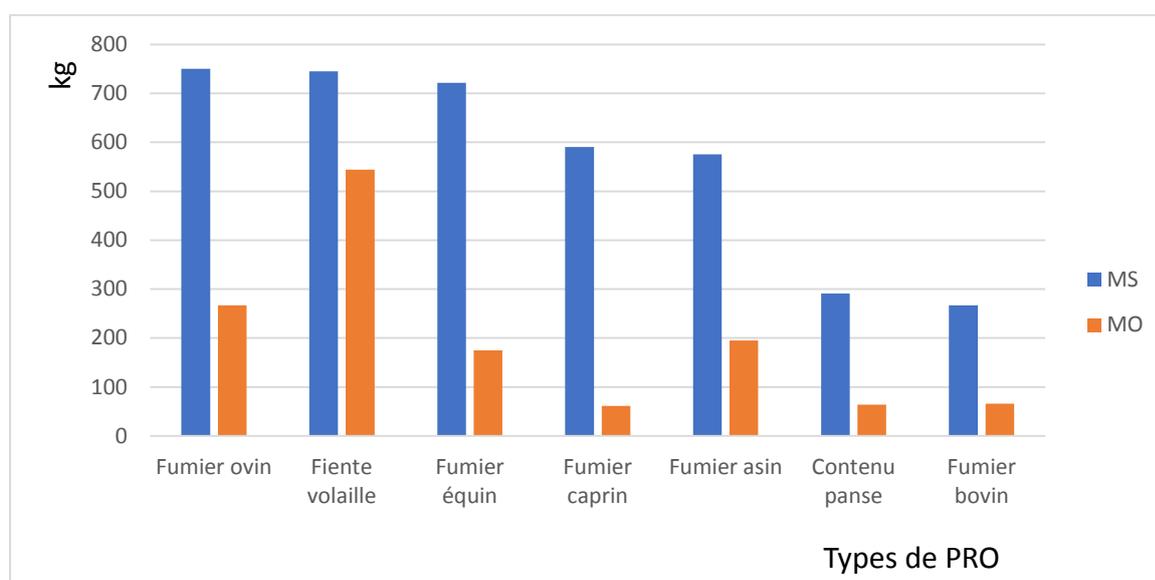


Figure 16 : Teneur en matière organique des PRO de la localité de Malem Hodar

### 3.5.1 Potentiel agronomique des PRO du village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar

Le tableau 14 représente le potentiel agronomique en N, P et K des PRO issus de l'élevage et contenus de panse du village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar.

Tableau 14 : Potentiel agronomique des PRO du village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar

	Mbarokounda			Localité de Malem Hodar		
	Nt (kg)	P (kg)	K (kg)	Nt (kg)	P (kg)	K (kg)
Fumier bovin	1 070	278	365	5 958	1 548	2 034
Fumier ovin	55	9	48	301	50	266
Fumier caprin	19	4	7,15	172	36	63
Fumier équin	1 654	409	1 274	5 391	1 334	4 151
Fumier asin	110	20	39	362	66	129
Fiente volaille	0	0	0	166	48	104
Contenu panse	0	0	0	104	67	64
<b>Total PA</b>	<b>2 908</b>	<b>720</b>	<b>1 734</b>	<b>12 453</b>	<b>3 149</b>	<b>6 811</b>

L'analyse du tableau 14 montre que le fumier d'équin a le plus fort potentiel agronomique en N, P et K dans le village de Mbarokounda ainsi que dans la localité de Malem Hodar. Dans le village de Mbarokounda, les potentiels agronomiques des PRO en N, P et K sont respectivement estimés à 2 908 kg, 720 kg et 1 733 kg. Le potentiel agronomique total de la localité de Malem Hodar est estimé à 12 453 kg en N, à 3 149 kg en P et à 6 811 kg en K.

### 3.5.2 Potentiel de biofortification en fer et zinc des PRO du Village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar

L'application de l'équation 14 aux gisements mobilisables des PRO pour la fertilisation nous a permis d'estimer les potentiels de biofortification en fer et zinc des PRO du Village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar (tableau 15). Le tableau 15 montre que le fumier d'équin a le plus important potentiel de biofortification en fer et zinc par rapport aux types de PRO dans le village de Mbarokounda et la localité de Malem Hodar. Le potentiel de biofortification est estimé à 2 295 kg en fer et à 16 kg en zinc dans le village de Mbarokounda. Dans la localité de Malem Hodar, le potentiel de biofortification est égal à 9 050 kg en fer et à 65 kg en zinc.

*Tableau 15 : Potentiel de biofortification en fer et zinc des PRO du village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar*

	Mbarokounda		Localité de Malem Hodar	
	Fe (kg)	Zn (kg)	Fe (kg)	Zn (kg)
Fumier bovin	567	4	3 158	24
Fumier ovin	19	0,2	103	1
Fumier caprin	26	0,1	226	1
Fumier équin	1 587	11	5 172	35
Fumier asin	96	0,5	317	2
Fiente volaille	0	0	8	1
Contenu panse	0	0	65	0,6
<b>Total PB</b>	<b>2 295</b>	<b>16</b>	<b>9 050</b>	<b>65</b>

## 4 Discussion

### 4.1 Discussion de l'estimation des quantités de biomasses résiduelles

Les gisements de biomasses résiduelles sont les quantités de déchets produits par les cultures au cours d'un cycle. Ils sont estimés en multipliant les rendements des différentes cultures par leurs indices résiduels respectifs. Cette méthode est soutenue par plusieurs auteurs à savoir (Lacour *et al.*, 2011; Lacour, 2012; SOLAGRO *et al.*, 2013; FAO, 2014a; Touré *et al.*, 2016) dans le cadre de l'estimation du potentiel de valorisation des déchets d'origine agricole et assimilés. Seules 6 spéculations (mil, maïs, sorgho, arachide, niébé, et sésame) dont leurs rendements sont disponibles à l'échelle du village à la DAPSA ont produit, pour les cinq villages enquêtés, un gisement brut de biomasses résiduelles estimé à 4 921 tonnes MS/an. L'arachide produit les 50% de ce gisement brut de biomasse résiduelles. Ce résultat est similaire à ceux de Touré et al. (2016), qui rapportent que l'arachide produit les 43 % du gisement brut de biomasses résiduelles provenant des 11 spéculations (mil, sorgho, maïs, riz, arachide, manioc, patate douce, niébé pomme terre, haricot vert, et chou) sur l'ensemble du territoire national en 2016. Cette différence de 7% des résultats pourrait être s'expliquée par le fait que les villages concernés par cette étude se trouvent dans le bassin arachidier du Sénégal. Pour les 6 spéculations qui font ce gisement de biomasses résiduelles estimées dans la localité de Malem Hodar, leurs indices de résidus furent obtenus à partir de la recherche bibliographique.

Une bonne estimation du gisement de biomasses résiduelles mobilisable par la fertilisation doit impérativement tenir compte des quantités utilisées pour l'alimentation du bétail et la construction.

La difficulté majeure rencontrée dans l'acquisition des données agronomiques au niveau de la DAPSA, est que la liste des spéculations cultivées dans la localité de Malem Hodar n'est pas exhaustive. On trouve dans la localité du piment, du gombo, du melon, de la pâte douce, de la tomate et de l'aubergine cultivés en petites quantités dont leurs rendements et leurs superficies ne sont pas disponible dans la base de données de la DAPSA à l'échelle du village. Les rendements donnés par la DAPSA pour l'arachide (1 039 à 1 200 kg/ha) sont supérieurs à ceux (700 à 920 kg/ha) acquis auprès des agriculteurs (Sarr, 2020). Pour les autres spéculations on constate une conformité des résultats des rendements.

Dans le terroir de Malem Hodar, en raison de l'insuffisance des ressources fourragères, le bétail, en sus de la fane d'arachide est alimenté avec de la paille de céréales (maïs, sorgho). Ce résultat confirme ceux obtenus au Maroc par (Rafrafi, 2006) et s'oppose à ceux obtenus

dans le territoire de la Néma (Sénégal) par (Coly *et al.*, 2013) qui soutient que malgré la diversité des résidus de récolte ramassés, seule la fane d'arachide participe à l'alimentation des animaux en stabulation. Toutes les quantités de résidus de l'arachide et du niébé sont totalement valorisées dans l'alimentation du bétail. Le gisement mobilisable des résidus de cultures pour la fertilisation est à 965 759 kg de MS dans la localité de Malem Hodar et à 51 404 kg de MS dans le village de Mbarokounda. Le gisement mobilisable des résidus de cultures du village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar est essentiellement produit par le mil, le sorgho et le sésame. Ces résultats corroborent ceux de Touré et al., (2016) qui avait rapporté que la plus grande partie du gisement mobilisable des résidus de cultures est produite par le mil et le sorgho au niveau national. Le gisement mobilisable des résidus de cultures produit dans la zone insuffisant pour la fertilisation des espaces cultivés.

#### **4.2 Discussion des quantités de déjections animales émises sur la localité**

Les types d'animaux élevés dans la zone d'étude (bovins, ovins, caprins, équins, asins, et volailles) confirment les résultats des travaux de Touré et al. (2016) qui montrent qu'au Sénégal les camelins sont principalement répandus à Louga, Podor et Dagana. La production porcine au Sénégal est relativement faible. Celle-ci est d'une part liée au développement très faible de la filière porcine au Sénégal et d'autre part à des considérations ethnico-religieuses qui témoigne une production porcine pratiquée uniquement par les habitants de religion chrétienne (Sérères, Diolas ...). La méthode adoptée pour déterminer les quantités brutes de déjections animales produites par le cheptel de la localité, au cours de l'année 2019, a été utilisée par Lacour (2011) dans l'évaluation du potentiel de valorisation par digestion anaérobie des gisements de déchets organiques d'origine agricole et assimilés en Haïti et au Sénégal par Touré et al. (2016) pour la quantification du gisement des déjections animales et résidus de cultures agricoles potentiellement disponibles pour la méthanisation.

Ce résultat corrobore ceux des travaux de Touré et al. (2016), qui défendent que la plus grande partie du gisement brut des déjections animales, au niveau national, est produite par les bovins et les équins.

Le gisement total maîtrisable des déjections animales émis par le bétail et la volaille sur le territoire étudié est évalué à 3 878 tonnes de MS/an et supérieur à la moitié du gisement brut. Ce gisement maîtrisable est étroitement lié à la durée de stabulation qui varie entre 12 heures et 24 heures par jour en fonction du type animal dans la localité de Malem Hodar. Ces résultats s'opposent à ceux obtenus par Touré et al. (2016), qui rapportent que la durée de stabulation est à égale 12 heures par jour pour tous les animaux au Sénégal et le gisement

maitrisable est égale à la moitié du gisement brut. Les effectifs souvent réduits ou dispersés des représentants respectifs de ces espèces au niveau de la localité, rendent difficile et inefficace la récupération de leurs déjections. Les différents gisements maitrisables de déjections produits par le cheptel sont classés comme suit : Bovins > Equins > Asins > Ovins > Caprins et confirmés par les travaux de Touré et al. (2016) au niveau national en 2016. Les bovins et les équins produisent respectivement 64% et 31 % du gisement maitrisable des déjections animales. Comparé à la part des déjections des équins dans le gisement brut (20%), il y a une augmentation de 11 % de la part de ces déjections dans le gisement maitrisable des déjections animales de la localité. Cette augmentation est liée aux modes d'élevages des agropasteurs de la zone d'étude, à la durée de présence des équins à l'étable. Les équins sont attachés dans les concessions toute la journée pour éviter qu'ils soient volés. Les bovins transhumants de la zone produisent une quantité mobilisable de bovins environ 900 tonnes de MS sur l'ensemble de la zone pour la fertilisation des cultures. Ces animaux se déplacent entre les différentes exploitations des villages de la zone ce qui fait ce gisement est un peu plus dispersé sur le territoire d'étude.

Les quantités de déjections animales produites dans les villages sont autoconsommées, c'est-à-dire chaque village épand sur leurs parcelles toutes les quantités de déjections produites par son cheptel. Il n'y a pas de possibilité de flux de déjections animales pour la fertilisation d'un village à l'autre.

#### **4.3 Discussion du potentiel agronomique et de biofortification des PRO de la localité**

- Potentiel agronomique

La quantité de carbone apportée au sol par une tonne de fiente de volaille est estimée à 225,89 kg et celle des fumiers des ovins est égale à 166,90 kg. Les fumiers de caprins ont la plus faible quantité de carbone avec 23,58 kg par tonne de fumier. L'apport de ces PRO peut entretenir le taux de matière organique du sol à long terme. La caractérisation des PRO de la localité de Malem Hodar montre que la fiente de volaille est plus riche en N, P et K et a un rendement en matière organique plus important que les autres types de PRO. Ces résultats corroborent ceux de Levasseur et al. (2019) faits en France et ceux de Jarousseau *et al.* (2016) faits au Sénégal. Cette composition importante de l'éléments chimiques dans la fiente de volaille peut être due au mode d'élevage pratiqué par les femmes de la localité. Le potentiel agronomique en N, P et K de la localité est produit par les fumiers de bovins, d'ovins, de caprins, d'équins et d'asins, la fiente de volaille et les contenus de panse. Le potentiel agronomique en N, P et K produits par les fumiers d'équins est plus important dans la zone

d'étude. Dans la localité de Malem Hodar, le potentiel agronomique total est estimé à 12 453 kg en N, à 3 149 kg en P et à 6 811 kg en K. Ce potentiel agronomique des PRO de la localité de Malem Hodar peut être utilisé comme substitution de l'engrais chimique.

- Potentiel de biofortification

La caractérisation des PRO montre que le fumier d'équin a les teneurs de fer (4,29 kg/t) et de zinc (0,03 kg/t) les plus importantes par rapport aux autres types de PRO de la localité. Ce résultat peut être dû à la durée de présence des équins à l'étable. Le potentiel de biofortification en fer et zinc de la localité de Malem Hodar est égal à 9 050 kg en fer et à 65 kg en zinc. Ces PRO apportés au sol peuvent augmenter la qualité nutritionnelle des aliments locaux tels que le mil, le niébé.

## 5 Conclusion

En définitive, l'estimation des PRO s'appuie sur la définition de leur typologie, l'identification des données structurelles, et les ratios de production matière par unité de temps et par secteur de production (agricole, agro-industrielle et municipale) pour estimer le gisement brut. Le gisement mobilisable pour la fertilisation au niveau d'un territoire doit toujours tenir compte des quantités qui sont valorisées par les autres formes d'usages effectuées sur les quantités totales accessibles ou maîtrisables. Les gisements mobilisables de PRO d'origine agricole sont les résidus de culture et les déjections animales représentent respectivement 965 tonnes de MS et 3 878 tonnes de MS sur la localité de Malem Hodar. Les quantités de déjections pouvant être utilisées dans la fertilisation des cultures (biofortification) sont essentiellement produites par les bovins et les équins. Dans le village de Mbarokounda, les bovins et les équins produisent respectivement 52% et 43% du gisement mobilisable des déjections animales (858 tonnes de MS). Les déchets d'abattoir (contenu de panse) sont estimés à 53 165 kg de masse brute et sont les seuls PRO mobilisables pour la fertilisation d'origine agroindustrielle dans la localité de Malem Hodar. La quantité théorique de la fraction fermentescible des ordures ménagères produit dans la zone est 176 tonnes de MS/an. Dans la localité de Malem Hodar, le potentiel agronomique total est estimé à 12 453 kg en N, à 3 149 kg en P et à 6 811 kg en K. Le potentiel de biofortification est égal à 9 050 kg en fer et à 65 kg en zinc. Ce travail ne prétend pas à une exhaustivité ni à une extrême précision dans l'évaluation quantitative des différents types de gisements de PRO du village de Mbarokounda et de la localité de Malem Hodar. Des études complémentaires corroborées par une détermination des ratios de production de déchets ménagers et des boues de vidanges produits dans les différents villages en saison sèche et humide, devront affiner cette évaluation de la quantité de la fraction fermentescible et des boues de vidanges. L'étude de la variation des quantités de déjections produites par type d'animal, suivant les saisons pourrait donner plus de précision sur les gisements produits par an dans la localité. Il est important de continuer ce travail en effectuant une recherche spécifique sur l'acceptabilité socio-économique de l'insertion des boues de vidange et des contenus de panse des animaux dans les systèmes de culture et sur l'impact des apports de ces PRO à long terme sur la qualité des sols.

## 6 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aboubakar M.W., Boni G., Cledjo P. (2018) – Essai D'évaluation Des Gisements De Déchets Organiques Animaux D'abattage Dans La Perspective D'une Planification De Leur Gestion Durable Dans Le Grand Nokoue Au Sud-Benin. *European Scientific Journal, ESJ*, **14**, 477.
- ADEME (2014) – « Guide pour la réalisation de campagnes de caractérisation des déchets ménagers. Conseils et méthodes à destination des collectivités. Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par le groupement INSAVALOR SA –plateforme PROVADEMSE et TERRA SA ».
- AFNOR (1996) – << Mise à disposition d'un outil de correspondance entre la caractérisation sur sec et sur humide des déchets ménagers >>.
- Aloueimine sidi O. (2006) – Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : Contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Université de Limoges. SQ
- ANDS (2016) – Situation économique et sociale de la région de Kaffrine, 225.
- Barrere A. (2014) – Analyse de la valeur agronomique de produits résiduaux organiques (PRO) à partir d'une expérimentation de longue durée, 51.
- Blunier P., Koanda H., Koné D., Strauss M., Klutsé A., Tarradellas J. (2014) – Quantification des boues de vidange. Exemple de la ville de Ouahigouya, Burkina Faso, 8.
- Bruxelles Environnement (2015) – Volume d'eaux usées admis sur les Station d'Épuration, 25.
- Buenrostro O., Bocco G. (2003) – Solid waste management in municipalities in Mexico : goals and perspectives, **39**, 251–263.
- Charnay F. (2005) – Compostage des déchets urbains dans les Pays en Développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost, 277.
- Coly I., Diop B., Akpo L. (2013) – Transformation locale des résidus de récolte en fumier de ferme dans le terroir de la Néma au Saloum (Sénégal). *Journal of Applied Biosciences*, **70**, 5640.
- Defo C., Fonkou T., Mabou P.B., Nana P., Manjeli Y. (2015) – Collecte et évacuation des boues de vidange dans la ville de Bafoussam, Cameroun (Afrique centrale). *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*.
- Diène J.D., sarr J., N'Diémor M. (2010) – La cartographie des produits résiduaux organiques (PRO) dans la région de Dakar : cas des départements de Pikine et de Rufisque.

- FAO (2014a) – Résidus agricoles et sous-produits agro-industriels en Afrique de l'ouest - Etat des lieux et perspectives pour l'élevage, 73.
- FAO (2014b) – *Bioénergie et Sécurité Alimentaire Evaluation Rapide (BEFS RA). Manuel d'utilisation Résidus de cultures et d'élevage.*
- Farinet Jean-Luc, Copin Y. (1994) – Dossier traitement des déchets : Transpaille, plant en mottes, lagunage. *Agriculture et développement*, 1 : 47-55.
- Flyhammar (1997) – Estimation of heavy metal transformation in municipal solid waste, 198.
- Gbinlo R. (2011) – Organisation et financement de la gestion des déchets ménagers dans les villes de l'Afrique Subsaharienne : le cas de la ville de Cotonou au Bénin, 238.
- Gueye M., Niang S., ENDA (Organization) (2010) – les options d'utilisation saine de eaux usées non traitées dans l'agriculture pour les communautés urbaines pauvres.
- HOUOT S., Pons M.-N., Pradel M., Tibi A., Aubry C., Barbier R., Benoit P., Brugère H., Caillaud M.-A., Casellas M., Chatelet A., Dabert P., de Mareschal S., Doussan I., Etrillard C., Fuchs J., Générmont S., Giamberini L., Viguié C. (2014) – *Valorisation des matières fertilisantes d'origine résiduaire sur les sols à usage agricole ou forestier. Impacts agronomiques, environnementaux, socio-économiques.*
- Jarousseau H., Houot S., Paillat J.-M., Saint-Macary H. (2016) – *Le recyclage des résidus organiques : regards sur une pratique agroécologique.* Editions Quae.
- Joncoux S. (2014) – Les „produits résiduaire organiques” pour une intensification écologique de l'agriculture : ressources, déchets ou produits : sociologie des formats de valorisation agricole, 416.
- Khalifa M. ahmoud O. (2010) – Gestion des ordures ménagères à Nouakchott (Mauritanie). Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD).
- Koanda H. (2006) – Vers un assainissement urbain durable en Afrique subsaharienne : approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange.
- Koledzi K.E. (2011) – Valorisation des déchets solides urbains dans les quartiers de Lomé (Togo) : approche méthodologique pour une production durable de compost.
- Koné D. (2010) – Making urban excreta and wastewater management contribute to cities' economic development : A paradigm shift. *Water Policy*, **12**, 602–610.
- Kouawa T. (2016) – Traitement des boues de vidange par lits de séchage sous climat soudano-sahélien, 232.
- Kple M. (2018) – Étude des voies de valorisation des déchets ménagers au Bénin : cas de la ville d'Abomey-Calavi. Lorraine.

- Lacour J. (2012) – Valorisation de la fraction organique de résidus agricoles et autres déchets assimilés à l'aide de traitements biologiques anaérobies. Quisqueya.
- Lacour J., Bayard R., Emmanuel E., Gourdon R. (2011) – Evaluation du potentiel de valorisation par digestion anaérobie des gisements de déchets organiques d'origine agricole et assimilés en Haïti. *Déchets, sciences et techniques*.
- Lagrange H. (2019) – Produits résiduels organiques : contribution des pro aux apports d'oligo-éléments, 5.
- Levasseur P., Soulier A., Lagrange H., Trochard R., Foray S., A. Charpiot, Ponchant P., Blazy V. (2019) – Valorisation agronomique des effluents d'élevages de porcs, bovins, ovins, caprins, volailles et lapins. RMT Elevage et Environnement, Paris, **1**, 83.
- Macauley H., Ramadjita T. (2015) – Les cultures céréalières : riz, maïs, millet, sorgho et blé. *Africa Rice Center, Benin*. 38p.
- Mage (2006) – Fiche d'exploitation n° 1 : Quelques paramètres caractéristiques des boues activées, 70.
- Maléki B., Gnon B. (2018) – Quantification des Déchets Solides Ménagers de la Ville de Kara et Scénarisation de la Gestion, **148**, 9.
- Mbéguéré M., Dodane P.-H., Koné D. (2009) – Gestion des Boues de Vidange (optimisation de la filière) : Actes du symposium international sur la Gestion des Boues de Vidange Dakar, Sénégal. *Eawag*, 64.
- Moletta R., Cansell F. (2003) – Méthanisation de déchets organiques. Etude bibliographique RECORD (Réseau Coopératif de Recherche sur les Déchets), 194.
- MULLER F. (2016) – Matière organique en retour au sol.
- Ngnikam E., Tanawa E. (2006) – *Les villes d'Afrique face à leurs déchets*.
- OIEau (2014) – Extrait référentiel technique national EPA, République d'Haïti : Fascicule technique/directives techniques/etc. 2.51 DIT1 (projet DINEPA - OIEau - UNICEF 2012/2013), 24.
- ONAS (2013) – Programme de Structuration du Marché des Boues de Vidange en faveur des ménages démunis de Pikine et Guédiawaye (PSMBV).
- ONAS (2017) – Etudes APS, APD et Elaboration du DAO pour l'Assainissement des Eaux Usées de la ville de Guédiawaye, 68.
- PNGD, UCG (2015a) – *Rapport de la campagne nationale de caractérisation des ordures ménagères et assimilées*.
- PNGD, UCG (2015b) – Rapport de la campagne nationale de caractérisation des déchets solides : Région Fatick, 36.

- PNGD, UCG (2015c) – Rapport de la campagne nationale de caractérisation des déchets solides : Commune de Mbour, 36.
- PNGD, UCG (2015d) – Rapport de la campagne de caractérisation des déchets solides : Région de Kaffrine, 56.
- Rafrafi M. (2006) – Evaluation de la production des résidus agricoles au Maroc, 16.
- Rose C., Parker A., Cartmell. E. (2015) – The Characterization of Feces and Urine : A Review of the Literature to Inform Advanced Treatment Technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45.
- Rouyat J., Broutin C., Rachmuhl V., Gueye A., Torrasani V., Ka I. (2006) – *La gestion des ordures ménagères dans les villes secondaires du Sénégal : Politiques municipales, pré-collecte et gestion de la filière.*
- Sarr M.M. (2020) – Diagnostic des systèmes de productions agricoles dans le village de Mbarokounda (Malem- Hodar/Kaffrine/Sénégal) : analyse des pratiques de fertilisation du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), 84.
- SOLAGRO, INDIGO, ADEME (2013) – Estimation des gisements potentiels de substrats utilisables en méthanisation, 117.
- Sonaiya E.B., Swan S.E.J. (2004) – Production en aviculture familiale, un manuel technique. Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 140.
- Topanou K.A.N. (2012) – Gestion des déchets solides ménagers dans la ville d'Abomey-Calavi (Bénin) : Caractérisation et essais de valorisation par compostage. Air Marseille, Abomey-calavi.
- Touré G.B., Médoc J.-M., Diarra K. (2016) – Eléments pour quantifier le gisement des déjections animales et résidus de cultures agricoles potentiellement disponibles pour la méthanisation au Sénégal. Mémoire de master, UCAD.
- Zuo Y., Zhang F. (2009) – Iron and zinc biofortification strategies in dicot plants by intercropping with gramineous species. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, **29**, 63–71.

## 7 Annexe

### 7.1 Annexe 1 : Liste des acteurs et institutions rencontrés pour l'acquisition de données nécessaires à la réalisation de l'étude

Tableau 16 : Détails de la rencontre du 15/11/2019

Date	15/11/2019
Institution/Entreprise rencontrée	Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles (DAPSA)
Personne ressource rencontrée	Elhadji Mamadou Ngom Ingénieur Statisticien Agricole
Email et n° de téléphone	-mail : tothngom@yahoo.fr Tel : 77 443 01 44
Lieu de rencontre	UCAD
Heure début-fin de rencontre	13H :30-13H :50
Rédactrice	Diarra Diouf

Tableau 17 : Détails de la rencontre du 11/12/2019

Date	11/12/2019
Institution/Entreprise rencontrée	L'Agence Nationale des Statistiques et de la Démographie (ANSD)
Personne ressource rencontrée	
Email et n° de téléphone	33 869 21 60
Lieu de rencontre	Colobane
Heure début-fin de rencontre	09h 30 – 09h 45
Rédactrice	Diarra Diouf

Tableau 18 : Détails de la rencontre du 15/11/2019

Date	15/11/2019
Institution/Entreprise rencontrée	Unité de Coordination de la Gestion des déchets solides (UCG)
Personnes ressources rencontrées	Pod Estelle Ndour : Chef du Projet développement des Filières de valorisation des Déchets Solides E-mail : pod.estelle.ndour@pngd.org Tel : +221 33 869 02 62 / +221 77 642 02 45 Ousmane KONE : Ingénieur de conception Génie Civil Chargé d'Etude et de Planification à l'UCG Service Economie des Déchets (SED) E-mail : oumanekone921@gmail.com Tel : 77-476-54-76/ 76-398-38-73
Lieu de rencontre	Sacré cœur 3 Cité Keur Gorgui Immeuble Y2-RDC
Rédactrice	Diarra Diouf

Tableau 19 : Détails de la rencontre du 25/02/20

Date	25/02/2020
Institution/Entreprise rencontrée	Service de l'Élevage et de Médecine Vétérinaire (SEMV) de Malem Hodar
Personne ressource rencontrée	Mamadou Sène (vétérinaire)
Email et n° de téléphone	77 5347060
Lieu de rencontre	Malem Hodar
Heure début-fin de rencontre	10h 20 – 11h 00
Rédactrice	Diarra Diouf

Tableau 20 : Détails de la rencontre du 26/02/2020

Date	26/02/2020
Institution/Entreprise rencontrée	Mairie de Sagna
Personne ressource rencontrée	M. Talla Ndao
Email et n° de téléphone	77 5347060
Lieu de rencontre	Malem Hodar
Heure début-fin de rencontre	11h 30 – 12h 15
Rédactrice	Diarra Diouf

Tableau 21 : Détails de la rencontre du 02/03/2020

Date	26/02/2020
Institution/Entreprise rencontrée	Abattoir de Malem Hodar
Personne ressource rencontrée	M. Talla BA
Email et n° de téléphone	705685459
Lieu de rencontre	Malem Hodar
Heure début-fin de rencontre	11h 30 – 12h 15
Rédactrice	Diarra Diouf

## 7.2 Annexe 2 : listes des chefs de ménages enquêtés

Tableau 22 : Chefs de ménage enquêtés à Mbarokounda

Communes	Villages	Nom du chef de ménage	Activité principale du chef de ménage
Sagna	Mbarokounda	Mor Ndaw	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Malick Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Cheikh Thioye	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Moustapha Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Sèye Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Aly Thioye	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Abibou Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Babacar Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Malick Thiam Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Abdoulaye Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Abdou Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Mor Awa Ségnane	Agriculteur

Sagna	Mbarokounda	Moustapha A. Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Mor Talla Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Mor Khady Badiane	Agriculteur
Sagna	Mbarokounda	Aladji Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Mor F. Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Adja Ami Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Adji Sarr	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Fatou Guèye	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Talla B. Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Momar Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Malick Sègnane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Abdou Sègnane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Yacine Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Talla C. Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Omar Sègnane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Abdoulaye Yama Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Modou Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Mbarokounda	Talla D. Badiane	Agriculture, Elevage

*Tableau 23 : Chefs de ménage enquêtés à Taïba Mbadianène*

Communes	Villages	Nom du chef de ménage	Activité principale du chef de ménage
Sagna	Taïba Mbadianène	Ousmane Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Taïba Mbadianène	Khanké Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Taïba Mbadianène	Cheikh Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Taïba Mbadianène	Mohamed Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Taïba Mbadianène	Mademba badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Taïba Mbadianène	Cheikh Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Taïba Mbadianène	Aïda Tobe	Agriculture, Elevage
Sagna	Taïba Mbadianène	Diarra Badiane	Agriculture, Elevage

*Tableau 24: Chefs de ménage enquêtés Diaby*

Communes	Villages	Nom du chef de ménage	Activité principale du chef de ménage
Sagna	Diaby	Mademba B badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Aïssatou Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Arame Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Ismaïla Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Cheikh Tidiane Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Babacar Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Mansour Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Babacar A. Seck	Agriculture, Elevage

Sagna	Diaby	Moustapha Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Abou Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Cheikh Tidiane Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Mor Fatou Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Mor Satou Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Adji Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Aliou Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Diaby	Kéba Seck	Agriculture, Elevage

*Tableau 25 Chefs de ménage enquêtés à Sagna*

Communes	Villages	Nom du chef de ménage	Activité principale du chef de ménage
Sagna	Sagna	Dibel Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Ndèye Fatou Seck	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Fatou Diba	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Youssoupha Guèye	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Dèguine Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Sènabou Willane	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Assane Niang	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Ibrahima Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Fatou Bary	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Babacar Sylla	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Cadé Diallo	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Modou Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Moussa Badiane	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Mariama Diallo	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Niahana Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Cheikh Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Fatoumata Diallo	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Modou B Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Ibrahima B Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Fatou Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Saliou Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Amy Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Mame Diarra Guèye	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Talla Ndaw	Agriculture, Elevage
Sagna	Sagna	Arame B Ndaw	Agriculture, Elevage

Tableau 26 : Chefs de ménage enquêtés à Malem Hodar

Communes	Villages	Nom du chef de ménage	Activité principale du chef de ménage
Malem Hodar	Malem Hodar	Abou Kayré	Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Arame Diop	Agriculture, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Aïda Ndaw	Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Adja Binetou Ndaw	Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Seynabou Ndaw	Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Moussa Ndaw	Agriculture, Elevage
Malem Hodar	Malem Hodar	Seynabou Ndaw	Agriculture, Commerce, Elevage
Malem Hodar	Malem Hodar	Moussa Ndaw	Agriculture, Elevage
Malem Hodar	Malem Hodar	Aladji Ndaw	Agriculture, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Mamadou Lamine Sylla	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Ibou Sylla	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Fatou Salle	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Khoudia Kane	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Ibou Ndaw	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Fatou Sy	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Fatou Mbaye	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Aminata KA	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Seynabou C. Ndaw	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Aïda Niang	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Penda Ka	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Babacar Mboup	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Ngoné Ka	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Awa Ka	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Badara Diop	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Samba Mboup	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Amadou	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Assane Ndao	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	El hadji diouf	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Pathé Ngalane	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Abdoulaye Barry	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Moussa Ba	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Fallou Mbaye	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Boubacar Ba	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Dame Binta Niang	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Malick Niah	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Moussa Sira Ndao	Agriculture, Elevage, Commerce
Malem Hodar	Malem Hodar	Baba Ka	Agriculture, Elevage, Commerce