

**Évaluation du potentiel de compostage des matières  
résiduelles organiques des marchés de Dakar pour  
l'amendement des sols maraîchers de la Grande Niaye**

par

**Loïc CHARLES**

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE COMME  
EXIGENCE PARTIELLE À L'OBTENTION DE LA MAÎTRISE,  
EN GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT  
M. SC. A.

MONTRÉAL, LE 28 JUILLET 2025

**ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE  
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC**

©Tous droits réservés

Cette licence signifie qu'il est interdit de reproduire, d'enregistrer ou de diffuser en tout ou en partie, le présent document. Le lecteur qui désire imprimer ou conserver sur un autre media une partie importante de ce document, doit obligatoirement en demander l'autorisation à l'auteur.

**PRÉSENTATION DU JURY**

**CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ**

**PAR UN JURY COMPOSÉ DE :**

M. Mathias Glaus, directeur de mémoire

Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

M. Malick Diouara, codirecteur de mémoire

Département de génie chimique et biologie appliquée à l'École supérieure polytechnique de Dakar

M. Frédéric Monette, président du jury

Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

Mme Josiane Nikiema, membre du jury

Département de génie de la construction à l'École de technologie supérieure

**IL A FAIT L'OBJET D'UNE SOUTENANCE DEVANT JURY ET PUBLIC**

**LE 10 JUILLET 2025**

**À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE**



## **REMERCIEMENTS**

Je tiens tout d'abord à exprimer mes sincères remerciements à mon directeur de recherche, Mathias Glaus, dont l'accompagnement a été aussi précieux qu'agréable. Sa gentillesse, sa patience et son enthousiasme ont rendu ce travail de recherche bien plus stimulant. Toujours de bonne humeur et prêt à partager ses conseils avisés, il a su me guider avec justesse et bienveillance tout au long de cette aventure.

Je suis également reconnaissant envers mon co-directeur, Malick Diouara, pour m'avoir accueilli à l'École supérieure polytechnique de Dakar et m'avoir guidé lors de la phase de terrain. Son expertise et sa vision du sujet ont été déterminants pour mener à bien cette recherche.

Un grand merci à Aïssatou Fall, qui m'a également accueilli à l'ESP et dont l'aide m'a été précieuse sur place.

Je tiens aussi à remercier Cheikh Ahmed Tidiane Faye et toute l'équipe de la SONAGED, qui m'ont accueilli et donné la chance de mieux comprendre la gestion des déchets sur les marchés de Dakar.

Un immense merci à Juliette Primard, Soheil Hardouzi, Nina Margelin, Alexandre Martin, Alexis Morel, Lola Chanteloube, ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont soutenu dans mes études. Leur présence et leurs encouragements ont été essentiels à bien des moments.

Enfin, je souhaite exprimer toute ma gratitude à Garance François, dont le soutien indéfectible et la bienveillance m'ont accompagné tout au long de cette aventure



# **Évaluation du potentiel de compostage des matières résiduelles organiques des marchés de Dakar pour la fertilisation des sols maraîchers de la Grande Niaye**

Loïc CHARLES

## **RÉSUMÉ**

Les marchés urbains de Dakar génèrent chaque jour de grands volumes de matières résiduelles organiques (MROs), dont une majorité est dirigée vers la décharge de Mbeubeuss ou abandonnée dans l'environnement. Cette gestion, en plus de poser des problèmes sanitaires et logistiques, représente une opportunité perdue dans un contexte de vulnérabilité des systèmes agricoles périurbains. À la périphérie de la capitale, la zone de la Grande Niaye concentre une activité maraîchère stratégique, mais elle est confrontée à un appauvrissement des sols et à une dépendance croissante aux intrants chimiques. Cette situation met en lumière la nécessité d'évaluer des solutions territorialisées pour boucler les cycles de matières résiduelles organiques.

Ce mémoire vise à évaluer le potentiel de valorisation agricole des MROs issues des marchés de Dakar, dans une optique d'économie circulaire et de résilience locale. À travers une démarche méthodologique mixte combinant enquête de terrain, entretiens semi-dirigés, relevés quantitatifs et cartographie participative, l'étude identifie les besoins spécifiques des producteurs, la composition et la saisonnalité des déchets organiques disponibles, ainsi que les configurations territoriales favorables à leur acheminement.

Les résultats montrent que les marchés étudiés génèrent environ 1250 tonnes de matières sèches organiques par mois, ce qui, combiné aux résidus agricoles, permettrait de produire, jusqu'à 18 000 tonnes de compost par an. Une valorisation de seulement 18 % de ce flux suffirait à couvrir les besoins en matière organique des 60,7 hectares de sols de la Grande Niaye, ce qui représente un captage mensuel de 289 tonnes de MROs sèches. Toutefois, l'exploitation efficiente de ces ressources repose sur deux leviers clés : d'une part, la nécessité d'un pré-tri rigoureux à la source pour écarter les déchets non organiques ou les contaminants; et d'autre part, la maîtrise technique du processus de compostage, indispensable pour garantir un produit final conforme aux attentes des maraîchers. Dans une perspective de valorisation des MROs en amendement des sols maraîchers de la zone de la Grande Niaye, un déficit en potassium subsiste, nécessitant des apports minéraux complémentaires. L'étude souligne également les défis logistiques, sociaux et institutionnels liés à la mise en œuvre d'un tel système. Le croisement des données territoriales et techniques permet de formuler des propositions concrètes en faveur d'une gestion intégrée des matières résiduelles, avec des scénarios de structuration d'une filière résiliente et inclusive. Ce travail souligne le rôle des collectivités locales, des acteurs de la gestion des déchets et des organisations de producteurs dans la mise en œuvre de solutions adaptées au contexte sénégalais.

**Mots-clés:** matières résiduelles organiques, compostage, gestion intégrée des matières résiduelles, agriculture urbaine, économie circulaire, Dakar



# **Evaluation of the composting potential for recycling organic waste from Dakar markets to fertilize market garden soils in the Grande Niaye**

Loïc CHARLES

## **ABSTRACT**

Dakar's urban markets generate large volumes of organic residual matter (ORM) every day, much of which is sent to the Mbeubeuss landfill or abandoned in the environment. In addition to posing sanitary and logistical problems, this management represents a lost opportunity in a context of vulnerability of peri-urban agricultural systems. On the outskirts of the capital, the Grande Niaye area is home to a strategic market-gardening activity but is facing soil impoverishment and increasing dependence on chemical inputs. This situation highlights the need to evaluate localized solutions for closing organic waste cycles.

The aim of this dissertation is to assess the potential for agricultural recovery ORM from Dakar markets, with a view to the circular economy and local resilience. Using a mixed-method approach combining field surveys, semi-structured interviews, quantitative surveys and participatory mapping, the study identifies the specific needs of producers, the composition and seasonality of available organic waste, as well as the territorial configurations favorable to their routing.

The results show that the markets studied generate around 1,250 tonnes of dry ORM per month, which, combined with agricultural residues, would enable the production of up to 18,000 tonnes of compost per year. Recycling just 18% of this waste stream would be enough to meet the organic matter needs of the 60.7 hectares of soil in Grande Niaye, representing a monthly collection of 289 tonnes of dry organic waste. However, the efficient use of these resources depends on two key factors: firstly, the need for rigorous pre-sorting at source to remove non-organic waste and contaminants; and secondly, technical control of the composting process, which is essential to ensure that the final product meets the expectations of market gardeners. With a view to using ORM as a soil amendment for market gardening in the Grande Niaye area, there is still a potassium deficit, requiring additional mineral inputs. The study also highlights the logistical, social and institutional challenges associated with implementing such a system. The cross-referencing of territorial and technical data makes it possible to formulate concrete proposals for integrated waste management, with scenarios for structuring a resilient and inclusive sector. This work underlines the role of local authorities, waste management stakeholders and producer organizations in implementing solutions adapted to the Senegalese context.

**Keywords:** organic waste, composting, integrated waste management, urban agriculture, circular economy, Dakar



## TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 ÉTAT DES CONNAISSANCES.....	4
1.1 Fonction de la matière organique et fertilisation des sols maraîchers .....	4
1.1.1 Importance de la matière organique dans les systèmes agricoles intensifs	4
1.1.2 Stabilisation et enrichissement du stock organique des sols.....	5
1.1.3 Exigences nutritionnelles des cultures maraîchères en contexte tropical ...	9
1.2 Valorisation des matières résiduelles organiques par le compostage .....	10
1.2.1 Principes biologiques et techniques du compostage en andains extérieurs.....	10
1.2.2 Estimation de la dégradation organique.....	12
1.2.3 Valeur fertilisante des composts et fumiers urbains .....	14
1.3 Approche territoriale intégrée en gestion des matières organiques .....	15
1.3.1 Typologie et caractéristiques des matières résiduelles organiques urbaines en Afrique subsaharienne .....	16
1.3.2 Logique de bouclage des matières résiduelles organiques .....	17
1.3.3 Outils d'optimisation pour les apports fertilisants .....	18
1.4 Contexte de l'étude .....	19
1.4.1 Grande Niaye de Dakar.....	19
1.4.2 Maraîchage dans la Grande Niaye : cultures, pratiques et contraintes ....	21
1.4.3 Distribution alimentaire et gestion des déchets organiques à Dakar .....	23
CHAPITRE 2 MÉTHODOLOGIE.....	27
2.1 Territoire de production maraîchère et dynamiques agricoles.....	29
2.1.1 Analyse des pratiques maraîchères dans la Grande Niaye de Dakar .....	29
2.1.2 Caractérisation spatiale et pédologique du territoire de production .....	29
2.1.3 Quantification des flux maraîchers et des résidus de culture.....	30
2.2 Évaluation du gisement de MROs et potentiel de compostage.....	32
2.2.1 Cartographie et quantification des flux de matières résiduelles organiques issues des marchés .....	33
2.2.2 Caractérisation des matières résiduelles et modélisation de la dégradation .....	33
2.2.3 Estimation de la quantité de compost théoriquement productible .....	35
2.3 Estimation des besoins agronomiques et stratégie d'amendement.....	36
2.3.1 Détermination des besoins en matière organique .....	36
2.3.2 Estimation des besoins en nutriments (N, P, K) .....	38
2.3.3 Optimisation des combinaisons d'amendements .....	40
CHAPITRE 3 RÉSULTATS .....	43
3.1 Organisation territoriale de la production maraîchère .....	43

3.1.1	Pratiques culturales et fertilisation dans la Grande Niaye .....	43
3.1.2	Occupation du sol et caractérisation pédologique .....	45
3.1.3	Distribution des productions et estimation des résidus de culture .....	48
3.2	Gisement urbain et potentiel de compostage .....	52
3.2.1	Caractérisation des flux de déchets des marchés .....	53
3.2.2	Biodégradabilité et dynamique de dégradation.....	56
3.2.3	Estimation du compost théoriquement mobilisable.....	58
3.3	Évaluation des besoins agronomiques et stratégie d'amendement .....	59
3.3.1	Besoins en matière organique des sols.....	59
3.3.2	Besoins en éléments fertilisants des cultures (NPK) .....	63
3.3.3	Optimisation des scénarios d'apports .....	67
CHAPITRE 4	DISCUSSION .....	71
4.1	Opérationnalisation .....	71
4.1.1	Validation de la faisabilité agronomique .....	71
4.1.2	Conditions techniques à saisir pour opérationnaliser.....	73
4.1.3	Limites méthodologiques en contexte opérationnel .....	75
4.2	Analyse des sensibilités critiques.....	77
4.2.1	Sensibilités techniques majeures.....	77
4.2.2	Sensibilités sociales stratégiques .....	82
4.3	Perspectives de mise en œuvre .....	84
4.3.1	Actions prioritaires à court terme .....	84
4.3.2	Suivi technique et agronomique pour structurer une filière durable.....	85
CONCLUSION	.....	89
ANNEXE I	NORMES QUÉBECOISES ET FRANÇAISES ENCADRANT LA QUALITÉ DES AMENDEMENTS ORGANIQUES .....	91
ANNEXE II	GUIDES D'ENTREVUES SEMI-DIRIGÉES .....	95
ANNEXE III	CARTE DES FLUX DE DISTRIBUTION MARAÎCHÈRE ENTRE ZONES DE PRODUCTION ET MARCHÉS URBAINS À DAKAR.....	99
ANNEXE IV	PARAMÈTRES AGRONOMIQUES UTILISÉS POUR L'ESTIMATION DES RÉSIDUS DE CULTURES .....	101
ANNEXE V	ALGORITHME MATLAB DE CALCUL DES RÉSIDUS AGRICOLE ET DE LA MATIÈRE SÈCHE À PARTIR DES PARAMÈTRES DE PRODUCTION .....	103
ANNEXE VI	TAUX ET FLUX DE MROS DANS LES ZONES URBAINES DU SÉNÉGAL .....	105

ANNEXE VII	TENEURS MOYENNES EN MATIÈRE ORGANIQUE ET ÉLÉMENTS N-P-K DES AMENDEMENTS UTILISÉS .....	107
ANNEXE VIII	BESOINS EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX (N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O) DES PRINCIPALES CULTURES MARAÎCHÈRES.....	109
ANNEXE IX	CONTRAINTE PARAMÉTRÉES DANS LE MODÈLE D'OPTIMISATION (SOLVEUR GRG NON-LINÉAIRE).....	111
ANNEXE X	SURFACE TOTALE CULTIVÉE PAR CULTURE ET PAR TYPE DE SOL PAR ZONE D'ÉTUDE .....	113
ANNEXE XI	RÉPARTITION DES MARAÎCHERS INTERROGÉS SELON LEUR ZONE DE PRODUCTION ET LES MARCHÉS DESSERVIS .....	115
ANNEXE XII	ESTIMATION DES BESOINS MENSUELS EN N-P-K POUR LES ZONES 2 À 5.....	117
ANNEXE XIII	SCÉNARIOS D'OPTIMISATION DES APPORTS EN N-P-K POUR LES ZONES 2 À 5.....	119
	LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	121



## LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1.1 Valeurs références des coefficients humiques k1 pour différents amendements organiques .....	8
Tableau 1.2 Taux de perte de masse ou de matière organique selon le type de substrat et les conditions de compostage.....	13
Tableau 2.1 Estimation de la fraction biodégradable des matières résiduelles organiques .....	34
Tableau 2.2 Valeurs de la constante de dégradation k selon les phases du compostage .....	35
Tableau 2.3 Caractéristiques agro-pédologiques des principaux sols de la Grande Niaye de Dakar .....	37
Tableau 2.4 Valeurs moyennes en éléments fertilisants (N, P, K) des amendements organiques utilisés.....	39
Tableau 3.1 Pratiques de fertilisation et utilisation des amendements par zone.....	44
Tableau 3.2 Répartition spatiale des cultures dominantes par zone en début de saison sèche froide (15/10 - 15/11).....	47
Tableau 3.3 Production mensuelle de résidus de culture et taux de matière sèche associés .....	50
Tableau 3.4 Estimation de la masse mensuelle de MROs et de cartons produits par les marchés urbains de Dakar.....	55

Tableau 3.5	Matières résiduelles organiques mobilisables via les marchés en quantité mensuel de matière sèche.....	56
Tableau 3.6	Évolution mensuelle de la matière sèche volatile biodégradable restante ( $S(t)$ ) au cours du compostage .....	57
Tableau 3.7	Estimation de la masse mensuelle de compost potentiellement produite à partir de la matière sèche disponible.....	58
Tableau 3.8	Apports bruts en matière organique nécessaires par type de sol et amendement .....	60
Tableau 3.9	Quantités d'amendements organiques à mobiliser pour atteindre ou maintenir la teneur cible.....	61
Tableau 3.10	Besoins en amendement organique pour atteindre et maintenir le stock cible de MO par zone agricole de la Grande Niaye .....	62
Tableau 3.11	Comparaison des besoins en amendement organique avec la littérature ...	63
Tableau 3.12	Recommandations des besoins en N-P-K des principales cultures .....	64
Tableau 3.13	Estimation des besoins mensuels en N-P-K pour la zone 1 .....	66
Tableau 3.14	Besoins mensuels en N-P-K pour chaque zone de la Grande Niaye .....	67
Tableau 3.15	Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 1 .....	68
Tableau 3.16	Estimation des masses mensuelles et annuelles d'amendements et engrais nécessaires.....	69
Tableau 3.17	Comparaison entre la demande agricole en compost végétal et le potentiel de production régional .....	70

Tableau 4.1	Analyse de sensibilité du pourcentage de MO des déchets .....	74
Tableau 4.2	Analyse de sensibilité de la teneur cible en matière organique (Tc) .....	78
Tableau 4.3	Analyse de sensibilité à la teneur en MO du compost.....	79
Tableau 4.4	Scénarios testés sur la composition N-P-K du compost végétal.....	80
Tableau 4.5	Effet des scénarios d'analyse de sensibilité sur la masse d'amendement mobilisée et les écarts de couverture en N, P et K pour la zone 1 .....	81
Tableau I- 1	Normes québécoises et françaises encadrant les paramètres agronomiques des amendements organiques .....	93
Tableau I-2	Normes québécoises et françaises encadrant les matières inertes et impuretés dans les amendements organiques.....	94
Tableau I-3	Normes québécoises et françaises encadrant les éléments organiques et inorganiques dans les amendements organiques.....	95
Tableau I-4	Normes québécoises et françaises encadrant les agents pathogènes dans les amendements organiques .....	96
Tableau IV-1	Paramètres utilisés pour la quantification des résidus de culture et l'estimation de leur teneur en matière sèche.....	103
Tableau VI-1	Taux moyen de matière organique des MROs et des papier-cartons.....	107
Tableau VII-1	Paramètres agronomiques des différents amendements organiques.....	109
Tableau VIII-1	Valeurs moyennes en N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O des différentes cultures maraîchères.	111

Tableau IX-1	Valeurs des contraintes du modèle d'optimisation par zone.....	113
Tableau X-1	Surface de culture par zone et par type de sol.....	115
Tableau XI-1	Déclaration des principales destinations des produits maraîchers par zone.....	117
Tableau XII-1	Besoins totaux en N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O pour la zone 2.....	119
Tableau XII-2	Besoins totaux en N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O pour la zone 3.....	119
Tableau XII-3	Besoins totaux en N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O pour la zone 4.....	120
Tableau XII-4	Besoins totaux en N-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -K <sub>2</sub> O pour la zone 5.....	120
Tableau XIII-1	Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 2.....	121
Tableau XIII-2	Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 3.....	121
Tableau XIII-3	Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 4.....	122
Tableau XIII-4	Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 5.....	122

## **LISTE DES FIGURES**

	Page	
Figure 1.1	Carte de la Grande Niaye de Dakar .....	20
Figure 1.2	Localisation des principaux marchés urbains de la région de Dakar.....	24
Figure 2.1	Diagramme du système.....	28
Figure 3.1	Carte de la répartition des cultures et des types de sols par zone .....	46
Figure 3.2	Diagramme des flux maraîchers entre zones de production et marchés destinataires.....	48
Figure 3.3	Évolution annuelle des résidus de culture et de leur teneur en matière sèche.....	51
Figure 3.4	Répartition des principales sources de MROs .....	54
Figure 4.1	Benne de collecte débordante sur le marché Sandika (Dakar) .....	83
Figure II-1	Guide d'entrevues semi-dirigées concernant la production et la distribution maraîchère.....	97
Figure II-2	Guide d'entrevues semi-dirigées concernant la fertilisation maraîchère....	98
Figure II-3	Guide d'entrevues semi-dirigées à destination des vendeurs des marchés.	99

Figure II-4	Guide d'entrevues semi-dirigées à destination de l'UCG.....	99
Figure III-1	Carte des flux de production maraîchère.....	101
Figure V-1	Algorithme de calcul de la masse de résidus de culture et de la teneur pondérée en matière sèche.....	105

## **LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES**

C/N	Rapport carbone/azote
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
DBO	Demande biochimique en oxygène
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i> (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture)
INRAE	Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
IR	Indice de récolte
ISRA	Institut Sénégalais de Recherche Agricole
MB	Matière brute
MO	Matière organique
MRC	Matières résiduelles carbonées
MROs	Matières résiduelles organiques
MS	Matière sèche
MSV (VS)	Matière sèche volatile (Volatile Solids)
N, P, K	Éléments fertilisants majeurs, azote (N), phosphore (P) et potassium (K)
SIG	Système d'information géographique
SONAGED	Société nationale de gestion intégrée des déchets (Sénégal)
UTM	Universal transverse mercator (système de projection cartographique)
WGS 84	World geodetic system 1984 (système de référence géographique)



## LISTE DES SYMBOLES ET UNITÉS DE MESURE

### **Longueur**

cm	Centimètre
m	Mètre
km	Kilomètre

### **Surface**

$\text{m}^2$	Mètre carré
ha	Hectare

### **Volume**

$\text{m}^3$	Mètre cube
--------------	------------

### **Flux**

t/ha/an	Tonne par hectare et par an
t/mois	Tonne par mois

### **Masse**

kg	Kilogramme
t	Tonne

### **Densité**

g/kg	Grammes par kilogramme
mg/kg	Milligramme par kilogramme
t/ $\text{m}^3$	Tonne par mètre cube

### **Temps**

a	Année
mois	Mois

### **Paramètres agro-pédologiques**

MO (%)	Matière organique (pourcentage)
MS (%)	Matière sèche (pourcentage)
H (%)	Humidité (pourcentage)
N (kg/t)	Azote (kilogramme par tonne)

P <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (kg/t)	Phosphore (kilogramme par tonne)
K <sub>2</sub> O (kg/t)	Potassium (kilogramme par tonne)
C/N	Rapport carbone/azote

## INTRODUCTION

L'agriculture urbaine et périurbaine occupe une place croissante dans les systèmes alimentaires des villes africaines, en réponse aux enjeux croisés de sécurité alimentaire, de réduction des coûts et de résilience face aux crises (Mougeot, 2006; Thomas, 2012). À Dakar, la Grande Niaye représente un espace stratégique de production maraîchère intensive, en interaction directe avec les marchés urbains qui assurent l'approvisionnement alimentaire de la capitale (Diop, Faye, & Sow, 2019; Ibrahima Diatta, 2008). Toutefois, les sols de cette zone subissent une dégradation progressive de leur fertilité, en raison de la faible teneur en matière organique, de l'urbanisation croissante et de l'intensification des pratiques agricoles (Chevallier, Razafimbelo, Chapuis-Lardy, & Brossard, 2020; Ndiaye et al., 2012). Cette situation compromet la pérennité des systèmes de production, étant donné que ces sols sont sableux et hydromorphes, rendant les apports organiques essentiels à la préservation de la fertilité et des fonctions biologiques du sol (Huber & Schaub, 2011).

Parallèlement, les marchés urbains de Dakar génèrent quotidiennement des quantités importantes de matières résiduelles organiques (MRO), notamment les produits alimentaires endommagés lors du transport et du stockage (Diagne, 2016; Tounkara, 2015). Ces déchets, en l'absence de tri à la source, sont collectés dans des bennes entreposées par la Société Nationale de Gestion Intégrée des Déchets (SONAGED), puis évacués vers la décharge à ciel ouvert de Mbeubeuss, principal exutoire de la région (Cissé, 2012; Partnership for action on green economy, 2021). Ce modèle de gestion linéaire induit une perte de ressources organiques valorisables, alors que les maraîchers font face à un déficit d'amendements organiques accessibles (Diagne, 2016; Fall, 2001).

Dans ce contexte, la présente recherche explore l'hypothèse selon laquelle la valorisation locale des MRO issues des marchés urbains de Dakar, par compostage, pourrait répondre aux besoins agronomiques des sols de la Grande Niaye, tout en réduisant la charge sur la filière de gestion des déchets. Cette approche s'inscrit dans une logique de bouclage territorial entre flux

de déchets et dynamiques agricoles, inspirée des principes de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) promue par le COLEACP (2021) et Fairhurst (2015).

Ce travail cherche à évaluer dans quelle mesure la mise en place d'un système territorial de valorisation des matières résiduelles organiques permettrait de répondre aux besoins agronomiques des maraîchers de la Grande Niaye, à partir du gisement issu des marchés urbains de Dakar. Plus spécifiquement, cette recherche vise à :

- caractériser les pratiques de fertilisation et les besoins agronomiques des maraîchers de la Grande Niaye;
- estimer les quantités de compost pouvant être produites à partir des MRO des principaux marchés de Dakar et des résidus de culture;
- déterminer les besoins en matière organique et en nutriments (N, P, K) des sols cultivés;
- estimer la demande en compost à partir de scénarios d'amendement optimisé intégrant différents types de composts et fumiers.

La méthodologie repose sur une approche mixte, combinant enquêtes de terrain (entretiens semi-dirigés, cartographie participative), modélisation agronomique (modèle de Hénin-Dupuis), et simulation d'optimisation multi-objectif des apports fertilisants. Elle s'ancre dans une perspective systémique et territoriale, en s'appuyant sur les outils de SIG, les référentiels agronomiques sénégalais, et les méthodes de caractérisation des flux organiques (Beniest, 1987; Ahn, Richard, Glanville, Harmon, & Reynolds, 2005).

Le mémoire débute par une revue des connaissances sur la gestion de la matière organique en agriculture tropicale et les modèles agronomiques mobilisables, tout en situant la problématique dans une perspective territoriale de gestion des déchets organiques. Il se poursuit avec la présentation de la méthodologie employée, combinant enquêtes de terrain, cartographie et modélisation. L'analyse des résultats permet ensuite d'illustrer les flux de matières, les besoins des cultures et le potentiel de valorisation. Le mémoire se conclut par une

discussion des conditions de mise en œuvre d'un système local de compostage, en lien avec les pratiques agricoles et les dynamiques institutionnelles.

## CHAPITRE 1

### ÉTAT DES CONNAISSANCES

Cette revue de littérature débute par un éclairage sur les dimensions agronomiques, techniques et territoriales mobilisées dans ce travail. Les rôles de la matière organique dans les systèmes maraîchers, les principes du compostage, les approches de gestion intégrée des fertilisants sont abordés, de même que le contexte spécifique du maraîchage et des flux organiques dans la Grande Niaye de Dakar.

#### 1.1 Fonction de la matière organique et fertilisation des sols maraîchers

La fertilisation des cultures maraîchères en zone tropicale repose sur un équilibre complexe entre apports organiques, besoins nutritionnels et environnementaux des cultures et propriétés des sols. Dans ces sols, la matière organique joue un rôle central à la fois comme source d'éléments nutritifs et comme facteur de structuration du sol. La compréhension des fonctions qu'elle remplit, des dynamiques qui régissent sa dégradation, ainsi que des exigences nutritionnelles des cultures, est une condition préalable à toute stratégie de fertilisation durable. Cette section présente successivement le rôle agronomique de la matière organique, les outils de modélisation de son évolution dans les sols, et les besoins spécifiques des cultures maraîchères tropicales en éléments fertilisants.

##### 1.1.1 Importance de la matière organique dans les systèmes agricoles intensifs

La matière organique joue un rôle fondamental dans la durabilité des sols cultivés, en particulier dans les régions tropicales et subtropicales où les contraintes pédoclimatiques accentuent sa dégradation. En Afrique subsaharienne, la faible teneur en matière organique des sols constitue un facteur limitant majeur de la fertilité, affectant directement la productivité agricole des sols cultivés de façon intensifs (Chevallier et al., 2020).

La matière organique influence les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol. Elle contribue à sa stabilité structurale, améliore sa capacité de rétention en eau et augmente sa porosité, favorisant ainsi l'infiltration et la circulation de l'air (Huber & Schaub, 2011). Sur le plan chimique, elle intervient dans la constitution du complexe argilo-humique, renforçant la capacité d'échange cationique (CEC) et la disponibilité des éléments nutritifs, tels que l'azote ou le phosphore. Biologiquement, elle constitue la principale source de carbone pour les micro-organismes du sol. Ces derniers décomposent les matières organiques et libèrent des éléments minéraux assimilables par les plantes. L'activité biologique du sol est essentielle à la minéralisation de l'azote et à la mobilisation des nutriments pour les cultures (Dugué, Andrieu, & Bakker, 2024; Ganry & Feller, 1998). Dans les régions tropicales, les processus de minéralisation sont rapides et la matière organique est disponible sur de courtes périodes (Dabin, 1980). De fait, l'absence d'apports réguliers conduit à une baisse du stock humique et à une instabilité des structures du sol, rendant l'agriculture intensive difficilement soutenable. De plus, les pertes liées à l'érosion, la déforestation ou l'exploitation agricole intensive accentuent ces déséquilibres (Chevallier et al., 2020; Dugué et al., 2024). Toutefois, les matières organiques disponibles ne sont pas équivalentes en termes d'efficacité agronomique. Leur nature, leur stabilité biologique ou encore leur taux d'humification influencent leur rôle dans la dynamique du sol (Huber & Schaub, 2011). Le choix des sources et la fréquence des apports doivent ainsi être adaptés aux contraintes locales. Dans ce contexte, la gestion des matières organiques constitue un levier fondamental pour la restauration et la préservation de la fertilité des sols agricoles tropicaux. Cette gestion passe à la fois par la restitution de biomasse, l'apport d'amendements organiques et l'adaptation des pratiques culturales à la dynamique de la matière organique dans les sols tropicaux.

### **1.1.2 Stabilisation et enrichissement du stock organique des sols**

Le modèle de Hénin-Dupuis est largement utilisé en agronomie pour estimer les flux de matière organique nécessaires à la stabilité ou à l'enrichissement du stock humique des sols. Il part du postulat qu'une fraction de la matière organique apportée au sol est stabilisée sous forme

d'humus, tandis qu'une fraction du stock humique existant est minéralisée chaque année. Cette approche permet d'établir un bilan organique théorique et d'anticiper les besoins d'amendement pour maintenir la fertilité des sols sur le long terme. L'équation originale du modèle exprime l'évolution du stock d'humus d'une année à l'autre (équation 1.1).

$$H_{(n+1)} = H_n \times (1 - k_2) + \alpha \times A \quad (1.1)$$

où :

- $H_n$  est le stock d'humus à l'année n (en t/ha);
- $k_2$  est le coefficient de minéralisation annuelle (%/an);
- $\alpha$  est le coefficient d'humification (sans unité);
- $A$  est l'apport annuel en matière organique brute (t MS/ha).

Lorsque le stock humique est à l'équilibre ( $H_{n+1} = H_n$ ), l'équation se simplifie pour donner une formule permettant de calculer l'apport d'entretien nécessaire. Ce dernier correspond à la quantité de matière organique à fournir chaque année pour compenser la minéralisation naturelle du stock humique (équation 1.2).

$$A = \frac{k_2 \times H}{\alpha} \quad (1.2)$$

Ce modèle empirique, fournit une base fiable pour évaluer les flux de matière organique à l'échelle annuelle. Dans la méthode INDIGO (Bockstaller & Girardin, 2008), une application opérationnelle du modèle de Hénin-Dupuis propose d'intégrer directement les paramètres observables sur le terrain, notamment la teneur en matière organique du sol, la profondeur travaillée et la densité apparente. La teneur en matière organique à l'équilibre, notée  $\tau e$ , est alors exprimée comme le rapport entre l'apport moyen annuel et le produit du coefficient de minéralisation et de la masse de sol concernée (équation 1.3).

$$\tau e = \frac{A}{k_2 \times T} \quad (1.3)$$

où :

- $\tau_e$  est la teneur en MO à l'équilibre (%);
- $T$  est la masse de sol par hectare sur la profondeur labourée (en t/ha).

Le modèle de Hénin-Dupuis peut aussi être relié à des paramètres du sol physiquement mesurables grâce à l'approche formulée par Zeng et al. (2021). Ces auteurs expriment le stock de matière organique humifiée dans le sol en fonction de la teneur en matière organique, de la profondeur travaillée et de la densité apparente du sol par l'équation 1.4:

$$H = \tau \times e \times d \quad (1.4)$$

où :

- $\tau$  est la teneur en MO à l'équilibre (%);
- $e$  est la profondeur de sol considérée (en m);
- $d$  est la densité apparente du sol (en t/m<sup>3</sup>).

Cette relation repose sur l'hypothèse d'une homogénéité de la teneur en MO sur la profondeur, d'une densité apparente connue et stable et d'une conservation du même horizon de sol avant et après intervention. L'intégration de cette expression dans l'équation d'entretien du modèle de Hénin-Dupuis permet de dégager deux formules simplifiées. Ainsi, l'apport initial nécessaire pour faire passer d'une teneur actuelle  $\tau_a$  à une teneur cible  $\tau_c$  est donné par l'équation 1.5 et l'apport annuel d'entretien requis pour maintenir cette teneur cible, par l'équation 1.6.

$$I_{initial} = \frac{(\tau_c - \tau_a) \cdot e \cdot d}{\alpha} \quad (1.5)$$

$$I_{entretien} = \frac{k_2 \cdot \tau_c \cdot e \cdot d}{\alpha} \quad (1.6)$$

Ces deux équations, bien que dérivées d'un modèle simplifié, offrent un cadre cohérent pour le raisonnement agronomique. Elles permettent de relier les caractéristiques du sol à des objectifs de fertilisation organique réalistes.

Les plages de valeurs admises pour les coefficients  $\alpha$  et  $k_2$  varient selon la nature des amendements et les caractéristiques du sol. Le coefficient d'humification  $\alpha$ , qui mesure la proportion de matière organique brute transformée en humus stable, dépend principalement du type d'amendement utilisé. Selon Duparque (2015), il se situe entre 0,25 pour des matières peu transformées et jusqu'à 0,83 pour certains composts très stabilisés. Des valeurs intermédiaires, comme 0,40 pour le fumier de volaille ou 0,52 pour le fumier bovin, sont retenues dans certaines synthèses agronomique (Duparque, Fleutry, Dersigny, Ancelin, & Duranel, 2008).

Tableau 1.1 Valeurs références des coefficients isohumiques  $k_1$  pour différents amendements organiques

Amendement	Estimation du coefficient isohumique ( $k_1$ )	Source
Fumier de poule	0,4	(D. Jouseaume & S. Houot, 2011) <sup>1</sup>
Fumier de vache	0,52	(D. Jouseaume & S. Houot, 2011) <sup>1</sup>
Compost végétal	0,25 - 0,83	(Rémy et Marin-Laflèche, 1976) <sup>2</sup>
Mélange compost-fumier	Compost de fumier de bovins	(D. Jouseaume & S. Houot, 2011) <sup>1</sup>
	Compost de fumier de volailles	

<sup>1</sup> : D'après (Rémy et Marin-Laflèche, 1976), cité par Duparque (2015).

<sup>2</sup> : D'après (Jouseaume & Houot, 2011), cité dans (Duparque, Fleutry, Dersigny, Ancelin & Duranel, 2008).

Le coefficient de minéralisation  $k_2$ , qui représente la fraction du stock humique perdue annuellement par minéralisation biologique, dépend principalement de la texture du sol. D'après les bases de la production végétale de Dominique Soltner (2011),  $k_2$  varient entre 1 % pour les sols argileux, 2 % pour les sols limoneux, et 2,5 % pour les sols sableux.

Ce modèle constitue un outil opérationnel permettant de quantifier les apports organiques nécessaires au maintien des fonctions du sol. Il offre une base de calcul adaptable aux contraintes locales et soutient les décisions de fertilisation dans une logique de durabilité.

### **1.1.3 Exigences nutritionnelles des cultures maraîchères en contexte tropical**

Les cultures maraîchères, particulièrement celles pratiquées dans les zones périurbaines d'Afrique de l'Ouest comme les Niayes du Sénégal, présentent des besoins nutritionnels particulièrement élevés en raison de leur forte intensité de culture, de la rotation rapide des cultures et des objectifs de rendement. Ces besoins s'expriment tant en matière organique qu'en éléments minéraux majeurs, notamment l'azote (N), le phosphore ( $P_2O_5$ ) et le potassium ( $K_2O$ ).

Le Guide pratique du maraîchage au Sénégal souligne que les rendements visés en culture intensive ne peuvent être atteints qu'en combinant amendements organiques et fertilisants minéraux, souvent sous forme d'engrais composés N-P-K, type 10-10-20, appliqué à raison de 200 à 400 kg/ha (Beniest, 1987). Ces apports viennent en complément des amendements organiques traditionnels tels que les fumiers ou les composts, généralement appliqués entre 20 et 35 t/ha selon la culture et la richesse du sol. La diversité des espèces cultivées implique des exigences variées. Les légumes-feuilles, tels que la laitue ou le basilic, sont particulièrement exigeants en azote (N), nécessaire au développement foliaire (Weill & Duval, 2010). À l'inverse, les légumes-fruits comme la tomate, ou les légumes-racines comme l'oignon, requièrent des apports plus équilibrés en azote, phosphore ( $P_2O_5$ ) et potassium ( $K_2O$ ), le phosphore étant déterminant pour la fructification (Ngom et al., 2017). Ces cultures requièrent également des composts mûrs ou très mûrs, moins riches en azote disponible mais mieux adaptés à une libération lente des nutriments (Huber, & Schaub, 2011). Toutefois, la disponibilité réelle de ces intrants reste variable selon les exploitations. Fall (2001) note que la dynamique de spécialisation des zones périurbaines, notamment dans les Niayes, a favorisé une intensification de l'horticulture, souvent dissociée de l'élevage, ce qui limite l'accès à des sources régulières de fumier ou de compost d'origine animale (Fall, 2001). Cela rend d'autant

plus critique la recherche d'alternatives de fertilisation, en particulier à travers le recyclage des déchets organiques urbains ou l'amélioration de la gestion des intrants déjà disponibles.

## **1.2 Valorisation des matières résiduelles organiques par le compostage**

Le compostage constitue une voie de valorisation des matières résiduelles organiques, permettant de transformer des déchets fermentescibles en un amendement organique stable et utile à la fertilité des sols. Dans les systèmes maraîchers tropicaux, cette pratique répond à un double enjeu, de réduction des volumes de déchets, et de restauration des sols (Beniest, 1987).

### **1.2.1 Principes biologiques et techniques du compostage en andains extérieurs**

Le compostage est un processus biologique aérobiose par lequel les matières organiques biodégradables sont transformées, sous l'action de micro-organismes, en produit stabilisé, hygiénique et valorisable. Ce processus se traduit par la production de dioxyde de carbone, d'eau, de chaleur et d'un résidu organique riche en humus. Il repose sur des conditions physico-chimiques spécifiques, notamment un bon équilibre entre carbone et azote, un taux d'humidité adéquat, une aération suffisante et une température propice à l'activité microbienne (Dionne, 1995). Les différentes techniques de compostage se distinguent principalement par leur niveau d'intensification, leur degré de mécanisation et leur besoin en espace. Le compostage en cuve ou bioréacteur est souvent utilisé dans les zones urbaines, où l'espace est limité. À l'inverse, le compostage en andains à l'air libre reste la méthode la plus répandue en milieu rural ou périurbain. Il se décline lui-même en plusieurs types selon la fréquence de retournement. Le compostage en andains extérieurs retournés consiste à disposer les matières organiques en tas allongés, appelés andains, sur une plateforme dédiée, puis à les retourner régulièrement pour assurer une bonne aération du substrat. Ce procédé présente l'avantage d'être peu mécanisée et peu coûteuse comparativement à la méthode en cuve (Bockstaller, & Girardin, 2008). Le processus se déroule généralement en trois phases successives. La phase mésophile initiale est caractérisée par une activité microbienne modérée, durant laquelle la température s'élève rapidement. Elle est suivie de la phase thermophile, où la température du substrat peut atteindre

60 à 70 °C, permettant la dégradation accélérée des composés organiques et l’hygiénisation du compost. Enfin, la phase de maturation correspond à une baisse progressive de la température et à la stabilisation de la matière organique restante (Dionne, 1995).

La réussite d'un processus de compostage dépend en grande partie des propriétés physico-chimiques des intrants utilisés. Les matières compostables se répartissent principalement en deux catégories : les déchets organiques riches en azote, comme les fumiers ou les biodéchets alimentaires, et les agents structurants riches en carbone, comme les copeaux de bois ou la paille. La formulation d'un mélange adapté repose sur l'équilibre de ces deux types d'intrants, afin d'atteindre un rapport C/N initial optimal, généralement situé entre 25 et 35 (Bernal, Alburquerque, & Moral, 2009). Un C/N trop élevé ralentit la décomposition, tandis qu'un C/N trop faible entraîne des pertes d'azote par volatilisation d'ammoniac. Le taux d'humidité optimal se situe entre 50 et 60 % selon les types de substrats (Dionne, 1995). Une humidité excessive empêche la diffusion de l'oxygène et provoque des fermentations anaérobies, alors qu'un substrat trop sec limite l'activité microbienne. Selon Ahn et al. (2005), les matériaux structurants tels que les copeaux de bois ou les résidus de paille ont une forte capacité d'absorption de l'eau, ce qui permet de réguler l'humidité et d'améliorer l'aération du substrat. La granulométrie des matériaux joue également un rôle fondamental. Des particules trop fines peuvent obstruer les pores et entraîner une baisse de la porosité, alors que des particules trop grosses offrent une faible surface de contact pour les micro-organismes. Une porosité optimale (30 à 50 % d'espace libre) est nécessaire pour permettre une bonne circulation de l'air (Adhikari, Barrington, Martinez, & King, 2008). Enfin, la teneur en oxygène doit être suffisante pour éviter les fermentations anaérobies; elle est généralement assurée par des retournements réguliers des andains (Feuillade, 2021). Selon les volumes à traiter, les conditions climatiques, les types de matières traitées et les objectifs agronomiques, la fréquence de retournement est adaptée (Feuillade, 2021). Ainsi, le compostage en andains extérieurs représente une solution techniquement accessible et agronomiquement pertinente pour la valorisation des matières organiques dans les systèmes agricoles tropicaux.

### 1.2.2 Estimation de la dégradation organique

Le processus de compostage implique la transformation progressive de la matière organique en produits plus stables, principalement sous l'action de micro-organismes aérobies. Pour anticiper les pertes de masse et estimer les rendements en compost final, plusieurs modèles cinétiques ont été développés. Parmi eux, un modèle de premier ordre est utilisé pour modéliser la biodégradation de la fraction volatile des solides organiques biodégradables. Selon Liwarska-Bizukojc, Bizukojc et Ledakowicz (2001), la dégradation de la matière organique peut être exprimée par une équation de type exponentiel décroissant, illustrant la diminution progressive de la biomasse organique au cours du temps (équation 1.7).

$$M_t = M_0 \times e^{-k \times t} \quad (1.7)$$

où :

- $M_t$  est la masse de matière organique restante à l'instant  $t$  (en j);
- $M_0$  est la masse initiale de matière organique (en t ou kg);
- $k$  est la constante de vitesse de dégradation (en  $j^{-1}$ );
- $t$  est le temps écoulé depuis le début du compostage (en j).

L'équation (1.7) permet de représenter les pertes de matière sèche en fonction du temps, dans des conditions opératoires constantes. Elle repose sur l'hypothèse d'un substrat homogène.

Par ailleurs, des études expérimentales menées en laboratoire ont permis d'estimer les coefficients de biodégradation dans différents contextes. Les valeurs de  $k$  observées varient généralement entre 0,05 et 0,10  $j^{-1}$  selon les conditions de température, d'aération, d'humidité, de structure du substrat et de biodisponibilité du carbone organique (Bernal et al., 2009 ; Mason, 2009). Les composts constitués de matériaux ligneux ou à forte teneur en lignine montrent des cinétiques plus lentes (Tuomela, Hatakka, Vikman, & Itavaara, 2000). En effet, la nature chimique des composés organiques détermine la vitesse de décomposition.

Le modèle peut être utilisé pour exprimer la proportion de matière dégradée après un temps donné (équation 1.8).

$$\Delta M_t = M_0 \times (1 - e^{-k \times t}) \quad (1.8)$$

Ce type de modélisation permet de représenter les pertes de masse et les transformations organiques au cours du compostage avec un bon niveau de fiabilité, malgré des simplifications inhérentes au modèle (Oudart, 2013). Plusieurs études ont permis d'estimer les pertes de masse ou de matière organique observées au cours du compostage, en fonction des types de substrats et des conditions opératoires. Le tableau 1.2 synthétise les valeurs couramment rapportées dans la littérature scientifique.

Tableau 1.2 Taux de perte de masse ou de matière organique selon le type de substrat et les conditions de compostage

Type de substrat composté	Conditions de compostage	Perte de masse ou de MO (%)	Remarques	Source
Fumier bovin, porcin, volailles	Andains retournés ou non	52–72 % de MO selon substrat	Perte plus élevée avec substrats riches en azote	Bernal <i>et al.</i> (2009)
Matières résiduelles organiques mixtes	Compostage optimisé (théorique)	40–60 % de MO	Taux typique pour compostage bien géré en conditions idéales	Haug (2004)
Matières résiduelles alimentaires (USA)	Compostage en andains statiques/aérés	48 % (valeur moyenne paramétrée)	Paramètre moyen utilisé dans les modèles d'ACV <sup>1</sup> pour le compostage	McGaughy <i>et al.</i> (2024)
Composts de ferme (Québec et Europe)	Andains extérieurs retournés	50 % (carbone)	Pertes moyennes de carbone durant le compostage	(Weill & Duval, 2010)

<sup>1</sup> : Analyse de cycle de vie.

Les taux de pertes de MO pendant le compostage varient entre 40 et 72% selon les sources et les conditions expérimentales. En outre, le taux moyen de perte de masse est fixé à 48 % comme une valeur réaliste, dans des conditions de compostage en andains extérieurs retournés.

### 1.2.3 Valeur fertilisante des composts et fumiers urbains

L'évaluation de la qualité d'un compost repose aussi sur une série de critères, dont la stabilité et la maturité du produit, sa composition chimique, ainsi que l'absence de contaminants physiques, chimiques ou microbiologiques. Un compost stable et mûr est un compost dont la matière organique est suffisamment décomposée pour ne pas entraîner de fermentation résiduelle (Feuillade, 2021). La maturité est atteinte lorsque les activités microbiennes se stabilisent, que le pH se régularise (généralement entre 7,5 et 8,5), et que l'odeur devient neutre (AGRIDEA, 2012). La stabilité et la maturité du compost dépendent de la composition initiale et du suivi des paramètres tout au long du processus. Les pertes en azote, les émissions gazeuses et les vitesses de dégradation varient selon les caractéristiques des intrants. Une évaluation détaillée de ces propriétés permet d'optimiser le rendement du compostage, mais aussi de garantir la qualité agronomique du produit final (Bernal et al., 2009). Une présentation des normes québécoise et française à respecter pour garantir la qualité des amendements organiques produits est donnée en Annexe I.

Aussi sur le plan fertilisant, les teneurs en azote (N), phosphore ( $P_2O_5$ ) et potassium ( $K_2O$ ) des composts et fumiers urbains varient selon la nature des intrants, leur origine, leur mode de traitement et leur niveau de maturité. Par exemple, les composts de fientes de volaille se distinguent par leur richesse en éléments minéraux, avec des teneurs allant jusqu'à 21 kg-N/t, 22 kg- $P_2O_5$ /t et 21 kg- $K_2O$ /t (Chabalier, Van de Kerchove, & Saint Macary, 2020; Decoopman, 2006). À l'opposé, les composts de déchets verts contiennent des concentrations plus faibles, en moyenne 7 kg-N/t, 3 kg- $P_2O_5$ /t et 5 kg- $K_2O$ /t, mais apportent une quantité significative de matière organique stable (AGRIDEA, 2012). La disponibilité immédiate des éléments fertilisants est également fluctuante. Dans les composts végétaux, seuls 5 à 10 % de l'azote total est minéralisé la première année d'épandage, alors que les fumiers aviaires peuvent libérer une fraction d'azote rapidement assimilable (Chabalier et al., 2020). Le phosphore et le potassium, quant à eux, sont généralement plus disponibles et peuvent être rapidement mobilisés par les plantes. Ces produits sont également différenciés par leur fonction. Les composts riches en carbone jouent un rôle amendant, améliorant la structure, l'aération et la

capacité de rétention en eau des sols (Chambre d’Agriculture et de la Pêche de Nouvelle Calédonie, 2023a). Les produits plus concentrés en nutriments, comme certains fumiers, agissent davantage comme fertilisants à effet rapide, ce qui les rend particulièrement adaptés aux cultures maraîchères (Decoopman, 2006). Ainsi, l’utilisation agronomique de ces produits nécessite de croiser les besoins spécifiques des cultures et les propriétés du sol, afin d’éviter des déséquilibres nutritionnels ou des surcharges en éléments comme le phosphore (Joubert et al., 2022).

L’ensemble de ces critères doivent être considérés pour évaluer l’aptitude d’un compost à être utilisé dans un contexte de maraîchage intensif. Ils permettent de comparer les caractéristiques des composts produits à partir des matières résiduelles des marchés avec celles des composts déjà valorisés dans des systèmes agricoles tropicaux.

### **1.3        Approche territoriale intégrée en gestion des matières organiques**

En Afrique subsaharienne, la dégradation de la fertilité des sols constitue l’un des principaux freins à l’intensification durable de la production agricole. Pour y remédier, la notion de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) s’est progressivement imposée comme cadre de référence. Cette approche repose sur la combinaison raisonnée d’intrants organiques (fumier, compost, résidus de culture), d’engrais minéraux et de bonnes pratiques agronomiques, dans une logique d’adaptation locale aux conditions agroécologiques et socio-économiques (Fairhurst, 2015). La GIFS reconnaît à la fois les limites de l’apport exclusif d’engrais minéraux et l’insuffisance des ressources organiques seules à restaurer la fertilité des sols (Comité de Liaison Entrepreneuriat-Agriculture-Développement, 2020). Elle tend à maximiser l’efficacité agronomique des nutriments appliqués, tout en assurant une gestion durable des sols (Gruhn & Goletti, 2000). Néanmoins, son application efficace demeure conditionnée par l’accès aux ressources, aux connaissances techniques, et à un environnement institutionnel favorable (Fairhurst, 2015). Cela implique de repenser la fertilité des sols à l’échelle du territoire pour intégrer les matières résiduelles organiques (MRO) issues des villes dans les dynamiques agricoles. Cette approche est ensuite approfondie par la présentation de la

typologie des MROs urbaines en Afrique subsaharienne, les initiatives locales de recyclage organique, et les outils permettant d'organiser les flux et les apports fertilisants à l'échelle d'un territoire.

### **1.3.1 Typologie et caractéristiques des matières résiduelles organiques urbaines en Afrique subsaharienne**

Les matières résiduelles organiques (MRO) issues des zones urbaines constituent une fraction significative des déchets municipaux solides, en contexte sub-saharien. Cette prédominance est liée à la forte proportion de déchets putrescibles, principalement alimentaires (Kple, 2015). À titre d'exemple, dans la ville d'Abomey-Calavi (Bénin), les déchets fermentescibles représentent environ 70 à 80 % de la masse totale des déchets collectés, selon les résultats de caractérisation typologique menés par Kple (2015). Les principales catégories de MROs rencontrées en contexte urbain sont les déchets de cuisine (restes alimentaires, épluchures), les déchets de marchés (fruits, légumes invendus ou avariés), les déchets verts (feuilles, branches, etc), les fumiers urbains ainsi que les boues de vidange, parfois co-compostées avec les déchets solides (Koanda, 2006). La composition de ces flux varie selon l'origine et la saison. En effet, les déchets de marchés sont riches en eau et dégradables rapidement, tandis que les MROs présentent une structure plus fibreuse et carbonée (Koanda, 2006; Kple, 2015). La caractérisation physico-chimique de ces MRO montre une variabilité. Au Burkina Faso, les composts produits à partir de mélanges équilibrés de déchets d'abattoir, déchets de cuisine et déchets verts ont des teneurs moyennes en matière organique variant de 17 à 30 % (Bambara, Thiombiano, & Hien, 2015). Le cas du Bénin confirme également la diversité des MRO urbaines. Kple (2015) souligne que la nature hétérogène des déchets limite l'application de certaines filières thermochimiques et implique la nécessité d'un tri préalable, pour séparer les fractions organiques valorisables. Enfin, la gestion de ces MRO reste confrontée à des contraintes structurelles, notamment le manque des dispositifs de tri, de filières de traitement, et l'enfouissement systématique (Koanda, 2006; Bambara et al., 2015).

### 1.3.2 Logique de bouclage des matières résiduelles organiques

Comme expliqué précédemment, la gestion des matières organiques tend à répondre à un double enjeu, de fertilisation et de diminution des matières résiduelles. Le bouclage entre ces deux composantes repose sur l'idée que les sous-produits organiques issus des villes peuvent être traités pour produire des amendements organiques destinés à l'agriculture. Plusieurs expériences en Afrique de l'Ouest illustrent cette volonté de reconnecter les flux urbains et agricoles. À Dakar, Mendy (2018) a documenté les expériences de compostage et de lombricompostage dans le cadre des micro-jardins urbains. Ces systèmes reposent sur la valorisation des déchets de cuisine et de marché pour produire un compost destiné aux cultures potagères, à l'échelle des quartiers. L'enjeu principal reste la maîtrise de la qualité agronomique des composts, ainsi que la viabilité économique des filières locales. Une autre initiative notable est le projet de co-compostage mené à la station de traitement des boues de vidange de Cambérène à Dakar (Lo et al., 2020). Dans cette étude, les boues de vidange ont été mélangées à des co-substrats d'origine végétale (déchets maraîchers) et animale (déchets de poisson), puis compostées selon la méthode des andains. Les composts obtenus ont des teneurs en azote comprises entre 1,3 et 2,2 %, en phosphore ( $P_2O_5$ ) de 0,2 à 0,5 % et en potassium ( $K_2O$ ) de 0,07 à 0,12 %. Toutefois, les ils présentaient des risques sanitaires en raison de la présence de coliformes fécaux et d'œufs d'helminthes, en particulier dans les composts issus des boues brutes. Cette expérience souligne l'importance de procédures d'hygiénisation lorsque les déchets urbains proviennent de filières à risque. Enfin, en Côte d'Ivoire, l'étude de faisabilité économique conduite par Ochou Essé Fabrice (2021) souligne le potentiel de la filière compost pour contribuer à la croissance économique et à la création d'emplois, en particulier dans le secteur agricole. Plusieurs initiatives publiques et privées ont vu le jour, à travers les entreprises « Green Countries » et « Biofertil ». Toutefois, leur développement est freiné par l'absence d'un marché régulier pour les composts, le manque de formation des producteurs et la méfiance des agriculteurs vis-à-vis de la qualité des produits.

Ces expériences montrent que si ce bouclage repose sur des fondements agronomiques solides, sa mise en œuvre dépend d'un ensemble de conditions techniques, sanitaires, économiques et

institutionnelles. La conception de filières à l'échelle du territoire apparaît donc nécessaire, afin de garantir la qualité des produits tout en répondant aux attentes des utilisateurs agricoles (Lo et al., 2020).

### **1.3.3 Outils d'optimisation pour les apports fertilisants**

L'optimisation des apports organiques repose sur une compréhension fine des interactions entre les besoins des cultures, la dynamique de la matière organique et les caractéristiques des amendements disponibles. À l'échelle de la parcelle, l'objectif est de raisonner les apports en fonction des exigences des cultures et de la capacité du sol à fournir durablement les éléments nutritifs essentiels. Dans cette perspective, des outils agronomiques comme le modèle de Hénin-Dupuis, brièvement présenté précédemment, constitue une base de calcul simple pour évaluer les apports nécessaires à la stabilisation de la matière organique dans les sols maraîchers. Dans certains contextes, des outils d'aide à la décision comme la méthode INDIGO® permettent de structurer ces informations dans une logique agro-environnementale intégrée. Le module « fertilisation » de cette méthode permet notamment d'évaluer le niveau de couverture des besoins des cultures par les pratiques d'amendement organique, en combinant les paramètres du sol, du climat, des cultures et des fertilisants utilisés. Au-delà de ces outils de simulation, la qualité des apports reste un point central. La connaissance des caractéristiques chimiques et agronomiques des composts et fumiers utilisés, notamment leur richesse en NPK, leur rapport C/N, leur niveau de stabilisation, est indispensable pour ajuster les doses et les moments d'application. Le choix des matières organiques s'inscrit ainsi dans une logique d'adaptation aux cultures, aux cycles de culture, au climat et aux types de sol.

Lorsque la réflexion dépasse la parcelle pour intégrer les dimensions logistiques, spatiales et institutionnelles d'un territoire, de nouveaux outils deviennent nécessaires. La planification des flux de matières organiques disponibles à l'échelle d'un bassin de production devient alors nécessaire, en s'appuyant sur des diagnostics territoriaux de l'offre et de la demande. Les bilans organiques territoriaux permettent de recenser les ressources potentielles (boues, fumiers, déchets de marché) et d'identifier les besoins des zones agricoles en matière d'amendement.

Plusieurs pays d’Afrique de l’Ouest ont amorcé des dynamiques territoriales visant à intégrer les matières résiduelles organiques (MRO) dans les systèmes agricoles. En Côte d’Ivoire, l’étude de faisabilité (Ochou, 2021) conduite avec le soutien du gouvernement canadien a mis en lumière le potentiel de la valorisation des déchets organiques par compostage et production de biogaz. Au Sénégal, le projet de recherche mené à la station de Cambérène (Lo et al., 2020) a permis de tester des mélanges de boues de vidange avec des déchets maraîchers et de poisson, selon un protocole de compostage en andains retournés. Au Bénin, le projet PROPICOM à Cotonou a mis en place des unités de compostage décentralisé sur plusieurs marchés, avec une forte implication communautaire dans la collecte des déchets et la distribution du compost. Au Burkina Faso, le projet PAGRHAA a expérimenté la valorisation des boues de vidange et des déchets de marchés à Ouagadougou, avec un suivi technique par les services municipaux et des ONG partenaires. Ces initiatives, bien qu’hétérogènes dans leurs structures, partagent la volonté de reconnecter les flux organiques urbains avec les besoins en fertilisation des zones agricoles périurbaines. Elles offrent des enseignements sur les conditions de faisabilité technique, institutionnelle et économique du bouclage déchets-agriculture à l’échelle d’un territoire. Enfin, elles montrent l’importance de cartographier des flux, organiser la logistique et l’encadrement sanitaire, développer un marché local et intégrer des politiques publiques pour structurer la filière à l’échelle du territoire.

#### **1.4 Contexte de l’étude**

Le contexte de l’étude est associé au territoire maraîcher de la Grande Niaye de Dakar (Sénégal). Cet espace agricole stratégique en bordure de la capitale sénégalaise illustre les enjeux croisés de production maraîchère intensive et de valorisation des matières organiques.

##### **1.4.1 Grande Niaye de Dakar**

La région de Dakar est découpée en quatre départements (Dakar, Pikine, Guédiawaye et Rufisque), chacun d’eux subdivisés en arrondissements et en communes. Entre les arrondissements de Dakar Ville et de Pikine existe un grand espace agricole : la Grande Niaye

de Dakar, l'un des derniers réservoirs d'agriculture urbaine de la capitale (Diop et al., 2019). Les Niayes sont des dépressions humides interlunaires caractéristiques du littoral sénégalais. Elles se présentent sous forme de cuvettes naturelles placées entre des cordons dunaires, dans lesquelles l'eau remonte à la surface durant une partie de l'année (Badiane & Mbaye, 2018; Diaouma, Diatou, Mamoudou, & Bachir, 2022). Ces zones possèdent un climat particulier, plus frais et plus humide que les territoires environnants, et disposent de sols organiques favorables à l'agriculture (Zelem, 2011).



Figure 1.1 Carte de la Grande Niaye de Dakar

La Grande Niaye de Dakar s'étend entre la Niaye de la Patte d'Oie au sud-ouest et la Niaye de Pikine au nord-est, où se trouve le site de la Technopôle. Elle forme un couloir d'environ 300 hectares selon les périodes, situé au cœur d'un espace urbain (Badiane & Mbaye, 2018;

Ndiaye et al., 2012). En effet, ce couloir agricole est encerclé par les communes de Dakar, Pikine et Guédiawaye, des quartiers urbains densément peuplés.

D'un point de vue pédologique, la Grande Niaye bénéficie d'une grande diversité de sols. Les zones basses sont constituées de sols hydromorphes riches en matière organique. Sur les dunes surplombantes se trouvent des sols ferrugineux tropicaux sableux, légers et drainés, mais pauvres en éléments nutritifs. Enfin, les sols salins, dits halomorphes, se trouvent en périphérie des anciens lacs (Cissé, 2012; Faye et al., 2014).

Dans la Grande Niaye de Dakar, le maraîchage est pratiqué toute l'année sur des exploitations de petite taille, généralement inférieures à un hectare (Fall, 2001), principalement sur les sols des dépressions comme ceux des hauteurs dunaires. Cette organisation spatiale offre une diversification des cultures. Toutefois, la pression urbaine met en péril l'équilibre de la Grande Niaye. La croissance démographique, les dépôts sauvages et l'imperméabilisation des sols perturbent le fonctionnement du site. Entre 1973 et 2009, la superficie des zones agricoles de la Grande Niaye a diminué de plus de moitié (Badiane & Mbaye, 2018; Ndiaye et al., 2012).

#### **1.4.2 Maraîchage dans la Grande Niaye : cultures, pratiques et contraintes**

Espace central pour le maraîchage dans la capitale sénégalaise, la Grande Niaye se démarque par des sols sableux humifères issus de dépôts marins, et par à une nappe phréatique peu profonde, qui permet une agriculture irriguée toute l'année (Diop et al., 2019; Zelem, 2011). Le recensement réalisé par ENDA/RUP en 2010, cité par Niang Aminata Khoury Moundaye (2014), estime que la Patte d'Oie regroupe environ 161 maraîchers, tandis que la Grande Niaye de Pikine concentre environ 850 maraîchers. En termes de superficie, la Grande Niaye de Pikine disposait en 2014 d'environ 128 hectares cultivés dédiés au maraîchage et à l'arboriculture.

Parmi les principales cultures pratiquées dans la zone, sont recensés l'oignon, la salade (laitue), le piment, la tomate, l'aubergine, le chou, et la menthe. La culture de la laitue est particulièrement emblématique de la Niaye de la Patte d'Oie, où elle est cultivée en grande

quantité dans les zones basses, en bordure des mares temporaires (Diaouma et al., 2022). Dans le secteur de la Technopôle, les rotations incluent la tomate, l'aubergine et l'oignon, souvent en fonction des opportunités de marché plus que du calendrier saisonnier (Diop et al., 2019). Les pratiques culturelles se font de façons intensives, avec plusieurs cycles par an, pour maximiser la rentabilité. L'alternance des cultivars est faite de manière empirique, sans planification, en fonction des rendements précédent et de l'intuition des producteurs. Ces systèmes sont entretenus par un savoir-faire oral transmis entre générations (Zelem, 2011).

Du point de vue de la fertilisation, les maraîchers recourent en priorité à des intrants organiques, notamment le fumier bovin, le compost issu de débris végétaux, ou des mélanges fermentés fabriqués localement. Les intrants sont obtenus soit par récupération, soit par des échanges ou des achats auprès d'éleveurs locaux, illustrant un mode d'approvisionnement ultra-localisé (Diop et al., 2019). Enfin, les engrains minéraux sont largement épandus, en particulier l'urée et les solutions liquide de NPK (FAO-CRDI, 2006; Zelem, 2011). Toutefois, la région des Niayes présente une forte sensibilité environnementale du fait de ses sols sableux, de nappes phréatiques superficielles, et de la présence de zones humides. Aussi, la gestion de la fertilisation doit être particulièrement prudente. Le rapport du Projet d'Appui à la Production Durable et Compétitive du Chou (Association des unions maraîchères des Niayes, 2014), mené en partenariat avec l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA), recommande de ne pas dépasser un apport total de 400 kg/ha de NPK 10-10-20 par cycle cultural, réparti en deux applications (200 kg/ha en redressement, puis 200 kg/ha en couverture). Cette recommandation est corroborée par l'étude de Gueye et al. (2023) sur la Grande Niaye de Dakar, qui a mis en évidence des excès d'azote total dans les eaux de surface utilisée pour l'irrigation (jusqu'à 67,6 mg/L), soit plus du double de la limite acceptable pour une utilisation agricole selon les normes OMS et sénégalaises. Ces excès sont directement liés aux pratiques de fertilisation déséquilibrées et à l'utilisation d'eaux usées mal traitées pour l'irrigation. Les conséquences identifiées incluent une diminution de l'oxygène dissous, la disparition de la faune aquatique, l'eutrophisation et une baisse de la productivité agricole. Ces observations soulignent l'importance d'un encadrement strict des pratiques de fertilisation dans cette région.

Ces pratiques témoignent de l'adaptation progressive des producteurs face aux contraintes pédologiques de la Grande Niaye. Les sols sableux, pauvres en argile, nécessitent en effet des apports réguliers en matière organique pour maintenir leur capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs (Aimée et al., 2018). Toutefois, dans un contexte marqué par la proximité de la nappe phréatique et la présence de zones humides vulnérables, ces apports doivent être gérés avec précaution. Comme l'indique Zelem (2011). La mise en œuvre de stratégies de fertilisation raisonnée apparaît donc essentielle pour concilier productivité agricole et préservation des écosystèmes locaux.

#### **1.4.3 Distribution alimentaire et gestion des déchets organiques à Dakar**

Le système de distribution alimentaire dakarois repose sur un réseau de marchés urbains interconnectés, structurant les flux de produits maraîchers à l'échelle de la capitale. Les produits cultivés dans la grande Niaye, notamment dans les secteurs de Pikine et de la Patte d'Oie, constituent une part non négligeable de l'approvisionnement quotidien de la ville (Diop et al., 2019; FAO-CRDI, 2006). Cette dynamique repose sur une logique de proximité, facilitée par l'ancrage de la production dans les marges urbaines et périurbaines. Selon Badiane et al (2023), les circuits de distribution sont organisés autour de deux grands axes : un approvisionnement de proximité, depuis les zones maraîchères locales (Niayes), et un approvisionnement longue distance, en provenance des autres régions agricoles du Sénégal (notamment le bassin arachidier) ou des pays limitrophes comme le Mali, la Guinée, la Gambie et la Côte d'Ivoire. Les marchés de Thiaroye, Castor et Sandika constituent les principaux nœuds de redistribution. À partir de ces plateformes, les produits sont distribués vers des marchés secondaires (Grand Yoff, Tilène, etc).

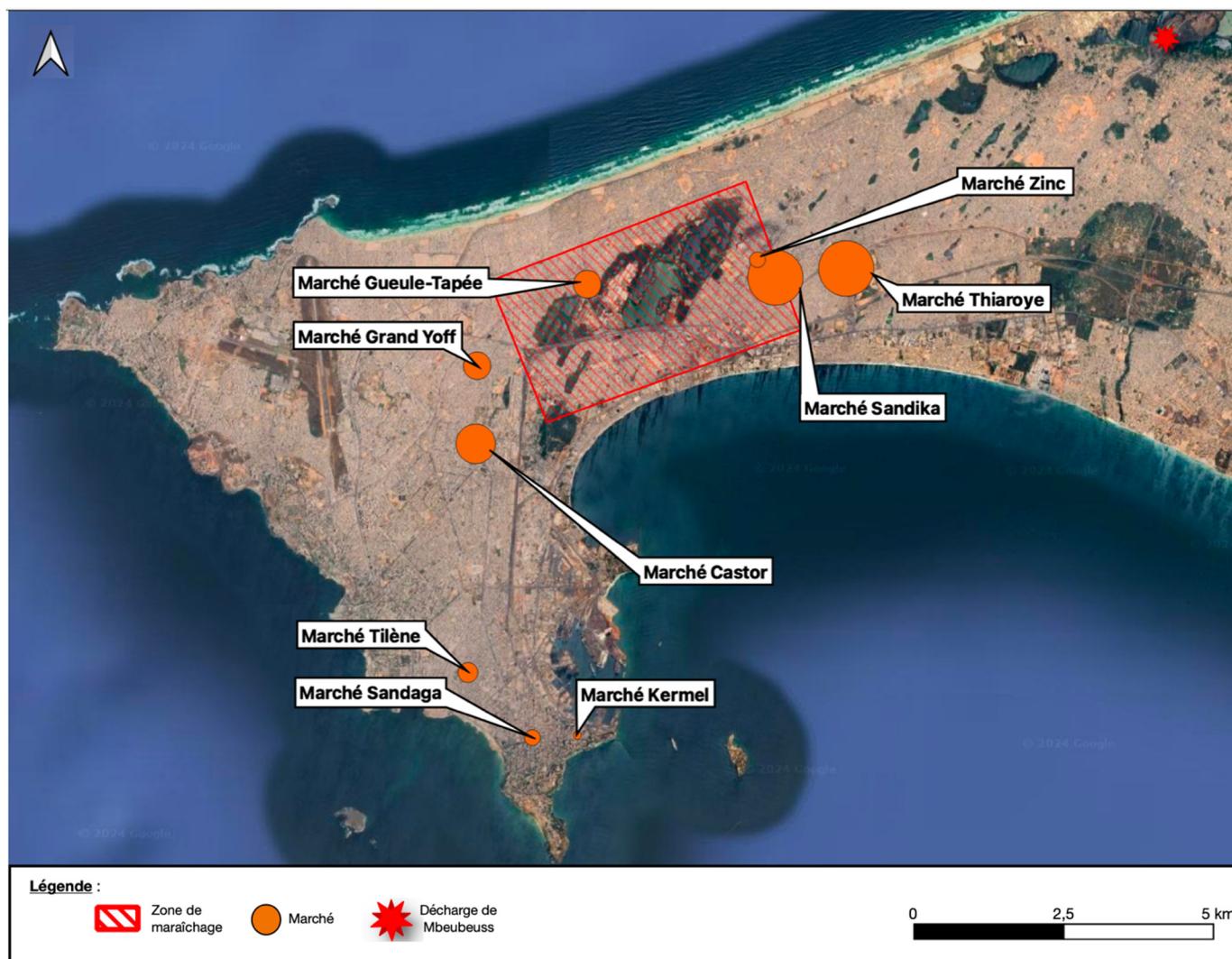


Figure 1.2 Localisation des principaux marchés urbains de la région de Dakar

Cette filière repose sur une pluralité d'acteurs, producteurs, « bana-banas » (intermédiaires de rue), grossistes et détaillants, qui interagissent de manière informelle. Cette informalité complexifie l'étude de ce système mais apporte une grande robustesse, et garantit une grande réactivité en termes d'offre.

Ce secteur génère des volumes de matières résiduelles organiques (MRO). Chaque marché dispose de zones de dépôt plus ou moins formalisées, notamment des bennes de collecte placées dans des Points de Regroupements Normalisés (PRN) en bordure des marchés. Ces espaces sont gérés par la SONAGED (Société Nationale de Gestion Intégrée des Déchets), organisme public chargé de la gestion des déchets à Dakar. Toutefois, en l'absence de tri à la source et de filière de valorisation, ces matières résiduelles sont entassées, collectées par camion, puis acheminées vers la décharge de Mbeubeuss, située au Nord-Est de Dakar. Cette décharge à ciel ouvert est le principal exutoire de la capitale depuis plusieurs décennies (Cissé, 2012; Tounkara, 2015; Zelem, 2011). La gestion des déchets solides dans la région de Dakar repose majoritairement sur un modèle linéaire, centralisé autour de la collecte et de l'évacuation à la décharge de Mbeubeuss, située à Pikine. Cette décharge de plus de 114 hectares accueille environ 659 000 t de déchets ménagers par an (Partenariat pour l'Action en faveur d'une l'économie verte (PAGE, 2021). Les analyses de caractérisation réalisées sur les matières solides collectés à Dakar révèlent que plus de 59 % de la masse est constituée de matières biodégradables. Le gisement est constitué de 22,5 % de matières organiques putrescibles, en majorité des restes alimentaires et des végétaux, et 36,6 % de matières fines contenant des fractions organiques. Selon une étude de l'UCG (Diagne, 2016), la production moyenne de déchets urbains est d'environ 172 kg par habitant et par an, dans la région de Dakar. Une part significative de ces déchets est probablement d'origine organique (PAGE, 2021; Diagne 2016). Cette composition témoigne du potentiel de valorisation organique sous-exploité. L'intégration des MRO se fait déjà par l'alimentation du bétail mais cette valorisation agricole des déchets organiques reste marginale (Cissé & Institut africain de gestion urbaine, 2012).

Ce territoire est donc confronté à des enjeux spécifiques autour de la valorisation des MRO. La présence de zones maraîchères au sein du tissu urbain, en particulier la Grande Niaye de Dakar, constitue un système complexe, où se croisent dynamiques agricoles, flux alimentaires et production massive de matières résiduelles organiques. Par ailleurs, la chaîne actuelle de gestion des déchets est linéaire. Ceux-ci sont non différenciés puis centralisés, ce qui fait obstacle à une valorisation agricole. Le développement d'une approche territoriale intégrée de gestion des déchets apparaît nécessaire, conjointement les acteurs agricoles locaux, pour renforcer la résilience agro-écologique de la Grande Niaye de Dakar. La partie suivante présente la méthodologie adoptée dans le cadre de ce travail, depuis la collecte des données empiriques jusqu'aux hypothèses de valorisation locale des flux organiques au service de la fertilité des sols de la Grande Niaye.

## **CHAPITRE 2**

### **MÉTHODOLOGIE**

Déployée dans un contexte dakarois, la démarche méthodologique est organisée en trois volets et s'inscrit dans un système qui comprend les deux types d'acteurs suivants : la Grande Niaye de Dakar et un ensemble de marchés urbains. Plus particulièrement, les sept principaux marchés urbains sont retenus dans le périmètre d'étude (Thiaroye, Sandika, Castor, Gueule-Tapée, Grand-Yoff, Tilène et Zinc). Ces marchés ont été identifiés comme lieux majeurs de redistribution des produits maraîchers de la Niaye. Le fonctionnement global du système est modélisé sous la forme d'un diagramme fonctionnel, qui représente les principales composantes du système et leurs interactions.

Le schéma présenté en figure 2.1 représente une simplification du système étudié. Il structure la construction des outils d'enquête et l'organisation des données. Aussi, la méthodologie suit la logique du système et s'organise en trois volets : la caractérisation du lieu de production (2.1), l'estimation du gisement de MROs urbaines (2.2), et l'évaluation des besoins agronomiques pour leur valorisation locale (2.3).

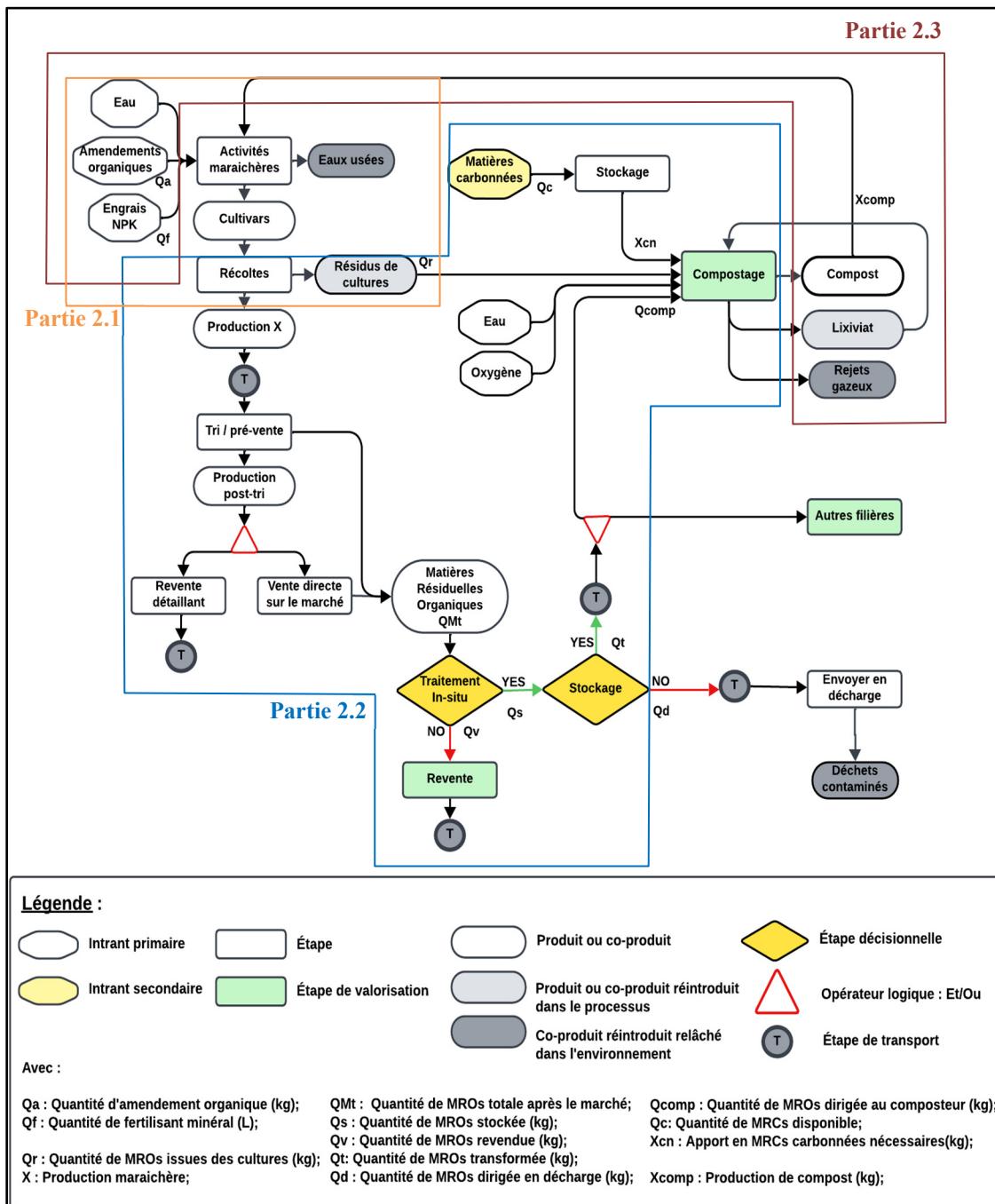


Figure 2.1 Diagramme du système

## **2.1 Territoire de production maraîchère et dynamiques agricoles**

L’analyse décrit les pratiques de fertilisation mises en œuvre dans la Grande Niaye ainsi que les circuits de distribution des productions agricoles. Elle est complétée par une caractérisation spatiale du territoire et des sols cultivés.

### **2.1.1 Analyse des pratiques maraîchères dans la Grande Niaye de Dakar**

L’étude des pratiques maraîchères s’appuie sur la collecte de données empiriques. Des entretiens semi-dirigés ont été conduits auprès des producteurs maraîchers afin de recueillir des informations sur les pratiques culturales, les types d’amendements utilisés, leurs modalités d’application, et les logiques de distribution des produits agricoles. Les guides d’entrevues sont disponibles en Annexe II. Les données recueillies ont été structurées sous forme de tableaux de synthèse permettant de recenser, par zone de production, les types d’amendements mobilisés (fumier, compost, engrais minéraux), leur fréquence d’application, ainsi que les effectifs de maraîchers concernés par chaque modalité. Ces tableaux permettent d’identifier les principales pratiques de fertilisation en usage, ainsi que les différences au sein du territoire d’étude. L’analyse a été complétée par une évaluation des circuits logistiques de sortie des produits maraîchers. La destination des récoltes a été relevée pour chaque exploitation, puis agrégée à l’échelle territoriale afin d’alimenter une matrice de flux. Cette dernière constitue la base de la représentation des liaisons entre les zones de production et les principaux marchés urbains.

### **2.1.2 Caractérisation spatiale et pédologique du territoire de production**

La caractérisation spatiale du territoire s’appuie sur une cartographie des zones cultivées de la Grande Niaye, construite à partir de relevés de terrain et d’images satellites. Chaque type de culture a été localisé visuellement, géoréférencé, puis vectorisé sous forme de polygones dans un système d’information géographique (SIG). Les superficies cultivées ont été croisées avec une carte pédologique qui considère les trois classes de sols suivantes : hydromorphes,

ferrugineux tropicaux (Dior) et halomorphes (Aimée et al ;2018). Chaque parcelle cartographiée a été associée à un type de sol, permettant d'établir une correspondance entre cultures et classes pédologiques. Afin de faciliter l'analyse spatiale et de mettre en évidence les logiques d'occupation du sol, la Grande Niaye a été subdivisé en cinq zones agricoles, chacune caractérisée par une culture dominante observée lors des enquêtes de terrain.

- Zone 1 : prédominance de la salade;
- Zone 2 : cultures majoritairement de tomates, piments et aubergines;
- Zone 3 : diversité de cultures, sans espèce majoritaire;
- Zone 4 : forte concentration de patate douce;
- Zone 5 : présence marquée de bissap (hibiscus).

### **2.1.3 Quantification des flux maraîchers et des résidus de culture**

Les flux de produits maraîchers entre la Grande Niaye et les marchés urbains ont été reconstitués à partir des destinations de vente déclarées par les producteurs. Un tableau des flux a été élaboré, puis intégré au SIG pour représenter visuellement les connexions entre les zones de production et les lieux de distribution. Chaque liaison a été pondérée en fonction du nombre de maraîchers concernés (Annexe III).

L'estimation des résidus de culture repose sur les rendements agricoles, les indices de récolte (IR), les durées de cycle et les surfaces cultivées. Lorsque la masse de résidus n'est pas directement disponible, elle est calculée selon les équations (2.1), (2.2) et (2.3).

$$R_i = Y_i \times \frac{(1 - IR_i)}{IR_i} \quad (2.1)$$

$$R_{mi} = \frac{R_i}{D_i} \quad (2.2)$$

$$R_{toti} = R_{mi} \times S_i \quad (2.3)$$

où:

- $R_i$  : masse de résidus par hectare (t/ha/cycle);

- $Rm_i$  : masse de résidus mensuelle par hectare (t/ha/mois);
- $Rtoti$  : masse totale mensuelle (t/mois);
- $Y_i$  : rendement (t/ha);
- $IR_i$  : indice de récolte;
- $D_i$  : durée du cycle (mois);
- $S_i$  : surface cultivée (ha).

La teneur en matière sèche (%MS) des résidus a été extraite de la littérature, soit estimée à partir de la matière sèche du produit et du rapport produit/sous-produit (équation 2.4). La moyenne pondérée des teneurs en MS pour l'ensemble des cultures a ensuite été déterminée selon l'équation 2.5.

$$\%MS \text{ résidus} = \frac{\%MS \text{ produit}}{\left(\frac{P}{SP}\right)} \quad (2.4)$$

$$\%MS \text{ global} = \frac{\sum(Rtoti \times \%MSi)}{\sum(Rtoti)} \quad (2.5)$$

Les étapes de calcul utilisées pour estimer la masse cyclique de résidus de culture ainsi que leur teneur moyenne en matière sèche sont détaillées dans l'algorithme (figure 2.2), à partir des équations (2.1) à (2.5).

Par la suite, l'évolution de la masse cyclique et du pourcentage de matière sèche des résidus de cultures a été calculée sur une base annuelle. Cette analyse repose sur l'hypothèse d'un système de culture continu. Chaque culture a été supposée comme immédiatement replantée sur la même surface après sa récolte, sans interruption. Cette hypothèse permet de simuler un fonctionnement cyclique du système agricole. Le cycle a été choisi pour une durée de trois ans et l'année 2 du modèle est sélectionnée comme période de référence. En effet, l'année 1 ne permet pas une pleine expression du système, car les cultures à cycle long ne sont pas encore récoltées. La teneur moyenne en matière sèche du mélange de matières organiques ( $MS_{mélange}$ ) a été calculée grâce à la moyenne pondérée, fondée sur la proportion massique de chaque composant dans le mélange (équation 2.6).

$$MS_{mélange} = \frac{\sum(m_i \times MS_i)}{\sum m_i} \quad (2.6)$$

où :

- $m_i$  : masse du composant i (t);
- $MS_i$  : teneur en matière sèche du composant i (%).

Le lissage des variations ponctuelles a été assuré par le calcul d'une moyenne mobile trimestrielle appliquée à la masse de résidus et au pourcentage de MS mensuel sur l'année 2. Enfin, la moyenne des moyennes mobiles trimestrielles sur l'année 2 a été calculée pour dégager deux indicateurs synthétiques :

- une masse mensuelle moyenne de résidus (t/mois);
- un taux moyen de matière sèche du mélange (%MS).

L'ensemble de ces opérations a été répertorié dans un algorithme (Annexe V) qui retranscrit la démarche choisie en fonction des paramètres à disposition (Annexe IV). Les résultats obtenus ont été mobilisé dans la suite de l'analyse pour l'évaluation du gisement global de matières résiduelles valorisables à l'échelle territoriale.

## 2.2 Évaluation du gisement de MROs et potentiel de compostage

Les matières résiduelles organiques produites sur les marchés urbains ont fait l'objet d'une analyse spatiale et quantitative. L'objectif est d'estimer les volumes disponibles à l'échelle territoriale et leur potentiel de valorisation par compostage.

### **2.2.1 Cartographie et quantification des flux de matières résiduelles organiques issues des marchés**

La quantification des MROs issues des marchés a été basé sur des entretiens semi-dirigés menés auprès des gestionnaires de marché et des agents de la SONAGED responsable de la gestion des déchets sur place. Les entretiens visaient à identifier les modalités de gestion des déchets, les fréquences de collectes, les types de stockage, et d'estimer les volumes produits.

Les données recueillies ont été structurées par marché et associées à leur position géographique. Une carte a été produite afin de représenter la répartition spatiale des gisements et leurs principales caractéristiques de gestion. Les volumes déclarés sont convertis en tonnages mensuels et en matière sèche à partir de pourcentages issus de la littérature (Annexe VI), différenciés selon le type de matière organique dominante. Ces estimations constituaient la base des calculs de potentiel de valorisation développés dans la suite de l'analyse.

### **2.2.2 Caractérisation des matières résiduelles et modélisation de la dégradation**

La masse totale de matières résiduelles organiques mobilisables correspond à la somme des matières résiduelles issues des marchés et des résidus de culture estimés (section 2.1.3). Ces volumes ont été convertis en matière sèche, puis en matière sèche volatile (MSV), utilisée comme représentation de la fraction biodégradable. Les taux de MSV ont été extraits de la littérature internationale et ne sont donc pas limités au contexte sénégalais. Ces valeurs, présentées au tableau 2.1, servent de références générales pour la caractérisation de la fraction biodégradable des MROs dans des conditions optimales de compostage.

Tableau 2.1 Estimation de la fraction biodégradable des matières résiduelles organiques

<b>Types de résidus</b>		<b>VS<sup>4</sup></b> (% MS)	<b>Fraction biodégradable estimée<sup>5</sup></b> (% MS)	<b>Matière sèche</b> (t/mois)	<b>MVS</b> (t/mois)	<b>MVS total</b> (t/mois)
<b>Matières résiduelles des marchés</b>	<b>Fruits<sup>1</sup></b>	91,4	90 - 95	1249	1155	1396
	<b>Légumes<sup>1</sup></b>	89,3				
	<b>Cartons et papiers<sup>2</sup></b>	65	65	363	236	
<b>Résidus de culture<sup>3</sup></b>		80 - 92	80 - 92	5	4	

<sup>1</sup> : (Adhikari et al. (2008).

<sup>2</sup> : (Tuomela et al., 2000) indique la composition lignocellulosique typique des papiers/cartons et affirme que la cellulose et l'hémicellulose sont biodégradables.

<sup>3</sup> : (Ahn et al. 2005).

<sup>4</sup> : Partie de la matière sèche qui est organique et volatile.

<sup>5</sup> : D'après (Mason, 2009), en conditions optimales de compostage, la totalité ou la très grande majorité des VS peut être considérée comme biodégradable.

La dégradation de la fraction biodégradable a été modélisée selon la fonction de Liwarska-Bizukojc et al. (2001). Cette fonction de type exponentiel croissante (équation 2.7) décrit une dégradation progressive de la matière biodégradable suivant une cinétique de premier ordre, où la vitesse de dégradation est proportionnelle à la quantité de matière restante. Les conditions environnementales (température, humidité, aération) sont censées ne pas limiter la cinétique pendant la période de modélisation et le substrat est considéré homogène.

$$S(t) = S_0 \times \exp^{(-k \times t)} \quad (2.7)$$

où :

- $S(t)$  est la masse de matière sèche biodégradable restante au temps  $t$  (en j);
- $S_0$  est la masse initiale de matière sèche biodégradable (en t);
- $k$  est la constante de vitesse de dégradation (en  $j^{-1}$ );
- $t$  est le temps écoulé en jours depuis l'initiation du compostage.

Les valeurs de k sont déterminées en fonction des caractéristiques physico-chimiques du compost à différentes phases du processus (température et humidité), sur la base des travaux de Dionne (1995) et Liwarska-Bizukojc et al. (2001). Elles sont résumées dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2 Valeurs de la constante de dégradation k selon les phases du compostage

Phase	Température interne T (°C)	Humidité (%)	k	Justification de k
<b>Phase thermophile</b>	60 (Diome, 1995)	50 (Diome, 1995)	0,1 jour <sup>-1</sup>	Activité microbienne maximale : (Diome, 1995) k élevé dans l'intervalle [0,05 à 0,2 jour <sup>-1</sup> ] : (Liwarska-Bizukojc et al., 2001)
<b>Phase mésophile</b>	45 (Diome, 1995)	50 (Diome, 1995)	0,05 jour <sup>-1</sup>	Diminution de l'intensité (Diome, 1995) k moyen dans l'intervalle [0,05 à 0,2 jour <sup>-1</sup> ] : (Liwarska-Bizukojc et al., 2001)
<b>Phase maturation</b>	35 (Diome, 1995)	45 (Diome, 1995)	0,02 jour <sup>-1</sup>	Activité faible en maturation (Diome, 1995) k faible dans l'intervalle [0,05 à 0,2 jour <sup>-1</sup> ] : (Liwarska-Bizukojc et al., 2001)

### 2.2.3 Estimation de la quantité de compost théoriquement productible

La quantité de compost mobilisable a été calculée à partir de la masse totale de matière sèche réellement engagée dans le processus de compostage. Le système a été modélisé en flux mensuel rotatif, avec l'introduction régulière de nouveaux lots de matière, chacun suivant un cycle complet de transformation. À partir du douzième mois, le système atteint un régime stationnaire, où chaque entrée mensuelle donne lieu à une sortie équivalente en compost mûr. Cette approche a été privilégiée car elle permet une modélisation dynamique du système et reste mobilisable en l'absence de données empiriques locales fiables. La production de compost est calculée en appliquant un taux de perte de masse de 48 %, correspondant à la part de matière sèche transformée en gaz (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, ...) au cours du processus. Cette hypothèse est fondée sur les travaux de McGaughy et al (2024), Haug (2004) et Bernal et al (2009).

La conversion de la masse sèche résiduelle en compost humide repose sur une humidité finale de 45 %, conformément aux recommandations pour un compost stabilisé. La relation utilisée est l'équation 2.8.

$$\% \text{ Masse humide} = \frac{\% \text{ Masse sèche}}{1 - H} \quad (2.8)$$

où : H représente la teneur en eau du compost mûr (soit 0,45).

Cette estimation a permis de déterminer la quantité mensuelle de compost mûr stabilisé potentiellement mobilisable à partir des flux de matières résiduelles traitées.

## **2.3 Estimation des besoins agronomiques et stratégie d'amendement**

L'analyse s'est poursuivie par l'évaluation des besoins agronomiques des sols en matière organique et en éléments minéraux. L'objectif est d'identifier les quantités d'amendements nécessaires pour garantir la fertilité des systèmes maraîchers.

### **2.3.1 Détermination des besoins en matière organique**

L'estimation des besoins en matière organique repose sur l'application du modèle de Hénin-Dupuis à trois types de sols représentatifs de la Grande Niaye : hydromorphes, ferrugineux tropicaux et halomorphes. La quantification des apports nécessaires a permis d'estimer, d'une part, les besoins pour atteindre une teneur cible en matière organique, et d'autre part, ceux nécessaires à son maintien dans le temps.

La caractérisation des sols s'est appuyée sur la carte pédologique de Aimée et al. (2018) et sur les analyses de profils de Ndiaye et al. (2012). Trois profils ont été sélectionnés pour représenter les principaux types de sols : Patte d'Oie pour les hydromorphes, dune de Pikine Nord pour les ferrugineux, et bas-fond de Pikine Nord pour les halomorphes. Les textures ont été déduites des données granulométriques, puis associées à un coefficient de minéralisation annuel  $k_2$  selon Soltner (2011). Les teneurs actuelles en matière organique ont été tirées de

Ndiaye et al. (2012), alors que les densités apparentes ont été fixées en accord avec Humbel (1970). Les teneurs cibles ont été déterminées selon chaque type de sol, en s'appuyant sur les recommandations de la littérature (Dabin, 1967; Charreau et Fauck , 1967; Vizier, 1985; Servant, 1985). Les principales caractéristiques agro-pédologiques des sols étudiés ont été synthétisées dans le tableau 2.3.

Tableau 2.3 Caractéristiques agro-pédologiques des principaux sols de la Grande Niaye de Dakar

Type de sol	Densité moyenne (t/m <sup>3</sup> )	Catégorie de sol	Teneur actuelle en MO (%)	Teneur cible en MO (%)	Coefficient de minéralisation k <sub>2</sub> (%/an)
<b>Ferrugineux</b>	1,66 <i>(Humbel, 1970)</i>	Sableux <i>(Ndiaye et al., 2012)</i>	0,738 <i>(Ndiaye et al., 2012)</i>	1,5 <i>(Charreau &amp; Fauck, 1967; Dabin, 1967)</i>	2,5 <i>(Soltner, 2011)</i>
<b>Hydromorphe</b>	1,6 <i>(Humbel, 1970)</i>	Argileux-limoneux <i>(Ndiaye et al., 2012)</i>	0,68 <i>(Ndiaye et al., 2012)</i>	2,8 <i>(Charreau &amp; Fauck, 1967; Vizier, 1985)</i>	1 <i>(Soltner, 2011)</i>
<b>Halomorphe</b>	1,75 <i>(Humbel, 1970)</i>	Sableux-argileux <i>(Ndiaye et al., 2012)</i>	1,01 <i>(Ndiaye et al., 2012)</i>	1,8 <i>(Charreau &amp; Fauck, 1967; Servant, 1985)</i>	1,2 - 1,5 <i>(Soltner, 2011)</i>

Le modèle de Hénin-Dupuis a été utilisé pour calculer la quantité de matière organique à apporter afin d'atteindre une teneur cible dans le sol, puis pour estimer l'apport annuel nécessaire au maintien de cette teneur à l'équilibre (équation 1.5 et 1.6). Il a été choisi dans une version stationnaire, avec une profondeur de sol de 20 cm.

- Apport initial pour atteindre la teneur cible :

$$\bullet \quad I_{initial} = \frac{(\tau_c - \tau_a) \cdot e \cdot d}{\alpha} \quad (2.9)$$

- Apport annuel pour maintenir la teneur cible :

$$\bullet \quad I_{entretien} = \frac{k_2 \cdot \tau_c \cdot e \cdot d}{\alpha} \quad (2.10)$$

où :

- $I_{initial}$  : apport initial en matière organique pour atteindre la teneur cible (t);
- $I_{entretien}$  : apport annuel pour maintenir la teneur cible (t/mois);
- $\tau_c$  : teneur cible en MO (%);
- $\tau_a$  : teneur actuelle en MO (%);
- $e$  : épaisseur de sol (m);
- $d$  : densité apparente du sol (t/m<sup>3</sup>);
- $\alpha$  : coefficient d'humification (sans unité);
- $k_2$ : coefficient annuel de minéralisation (%/an).

Les besoins exprimés en t MS/ha ont été convertis en quantités d'amendements bruts pour cinq matériaux : fumier de vache, fumier de volaille, composts de fumier de bovins, composts de fumier de volailles et compost végétal. Les teneurs en MO de chaque amendement sont issues d'une moyenne bibliographique (Beniest, 1987; Fall, 2001), détaillée en Annexe VII.

Les besoins ont ensuite calculés pour cinq zones agricoles, définies selon les types de cultures prédominants. Pour chaque zone, les apports en amendements nécessaires sont appliqués aux surfaces cultivées et calculés pour atteindre les teneurs cibles, et son maintien à l'équilibre.

### 2.3.2 Estimation des besoins en nutriments (N, P, K)

Les besoins en nutriments ont été évalués pour les trois éléments majeurs que sont l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K). L'approche consistait à déterminer, pour chaque culture présente dans la Grande Niaye, les besoins en N-P-K par cycle cultural, exprimés en kg/ha.

Les références mobilisées sont issues de la littérature grise spécifique au contexte sénégalais (Beniest, 1987; Fall, 2001). En l'absence de données localisées, des valeurs moyennes ont été retenues à partir de sources complémentaires. Les besoins mensuels ont ensuite été obtenus en divisant les besoins par cycle par la durée moyenne d'un cycle cultural, exprimée en mois. Ces durées sont issues des entretiens semi-dirigés, puis validées par la littérature. Les besoins en N, P et K ont ensuite été calculés à l'échelle des cinq zones agricoles, en croisant les besoins unitaires par espèce avec les superficies cultivées. Les résultats ont été exprimés en kg/mois et par zone. Un tableau de synthèse détaillant les besoins par culture est présenté en Annexe VIII. Pour relier ces besoins aux apports potentiels des amendements organiques, les teneurs moyennes en NPK de cinq types d'amendements sélectionnés ont été recensées. Ces valeurs sont issues d'une moyenne bibliographique croisée et permettent d'évaluer la contribution de chaque matériau au bilan minéral. Les teneurs moyennes en N, P et K des amendements organiques considérés ont été synthétisées dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4 Valeurs moyennes en éléments fertilisants (N, P, K) des amendements organiques utilisés

Amendement	Valeur moyenne en N-P-K (kg/t de matière brute)
<b>Fumier de poule</b>	11,5 - 19,6 - 8,4
<b>Fumier de vache</b>	12,5 - 2 - 2,5
<b>Compost végétal</b>	7,3 - 6 - 5,2
<b>Mélange compost-fumier</b>	<b>Compost de fumier de bovins</b>
	8,3 - 21 - 4,8
	<b>Compost de fumier de volailles</b>
	11,6 - 20,2 - 7,2

Ces teneurs ont ensuite été utilisées pour évaluer les combinaisons d'amendements susceptibles de couvrir, à la fois les besoins organiques et minéraux à l'échelle territoriale.

### 2.3.3 Optimisation des combinaisons d'amendements

Les scénarios de fertilisation ont été construits afin d'identifier, pour chaque zone de la Grande Niaye, les combinaisons d'amendements permettant de couvrir simultanément les besoins en azote (N), phosphore (P) et potassium (K), tout en valorisant les matières organiques disponibles localement. L'approche reposait sur la résolution d'un problème d'optimisation multi-objectif visant à minimiser les écarts entre les apports et les besoins agronomiques. La résolution du problème a été effectuée à l'aide de l'outil Solveur d'Excel, en activant le moteur Generalized Reduced Gradient Non Linéaire (GRG Non linéaire). Le GRG est une méthode d'optimisation non linéaire qui ajuste les variables de décision en respectant les contraintes. Elle utilise les gradients pour guider la recherche vers un optimum local dans des systèmes complexes, non linéaire, notamment ceux contenant des valeurs absolues.

Aussi, quatre combinaisons d'amendements ont été testées par zone. Toutes incluent le compost végétal, combiné à un second amendement (fumier de poule, fumier de vache, compost de fumier de bovins ou compost de fumier de volailles) et à un engrais minéral de type N.x- P.y- K.z . Les dix paramètres d'entrée (teneurs en NPK des amendements) ont été extraits de la littérature spécialisée. Les quantités mensuelles de chaque produit (X, Y, Z) ont été définies comme variables de décision (en t/mois) dans une feuille de calcul dédiée.

La fonction objective du problème est la minimisation de X, soit la somme des écarts absolu entre les apports et les besoins (équation 2.11).

$$X = |N(apport) - N(besoin)| + |P(apport) - P(besoin)| + |K(apport) - K(besoin)| \quad (2.11)$$

Tel que :

$$\begin{aligned} X = & |(X \times N_1 + Y \times N_2 + Z \times N_3) - N(besoin)| + \\ & |(X \times P_1 + Y \times P_2 + Z \times P_3) - P(besoin)| \quad (2.12) \\ & + |(X \times K_1 + Y \times K_2 + Z \times K_3) - K(besoin)| \end{aligned}$$

Les valeurs ( $N_1, P_1, K_1$ ); ( $N_2, P_2, K_2$ ); ( $N_3, P_3, K_3$ ) correspondent aux teneurs (en kg/t) des amendements 1, 2 et 3 respectivement. À cette fonction objective sont associées trois équations de contrainte permettant d'imposer que les apports couvrant au maximum les besoins estimés en éléments nutritifs, afin d'éviter tout risque de sur-fertilisation et de pollution.

Apport total en azote :

$$X \times N_1 + Y \times N_2 + Z \times N_3 \leq N(\text{besoin}) \quad (2.13)$$

Apport total en phosphore :

$$X \times P_1 + Y \times P_2 + Z \times P_3 \leq P(\text{besoin}) \quad (2.14)$$

Apport total en potassium :

$$X \times K_1 + Y \times K_2 + Z \times K_3 \leq K(\text{besoin}) \quad (2.15)$$

Afin d'adapter le modèle aux spécificités de chaque zone et répondre aux objectifs de valorisation des amendements organiques, des contraintes supplémentaires ont été ajoutées. Une première concerne le compost végétal (X), amendement central de cette étude, qui favorise le maintien et contribue à la restitution de la MO dans les sols cultivés. Une autre contrainte a été fixée pour l'utilisation d'un fumier. Les seuils pour le compost végétal et le fumier sont différents selon les zones, et fixés après un paramétrage progressif à la suite d'une série de simulations. Enfin, des valeurs limites pour l'utilisation de l'engrais minéral ont été calculées à selon l'équation 2.16. Les seuils d'utilisation par zone reposent sur une méthode de transposition proportionnelle, fondée sur la recommandation de l'Association des unions maraîchères des Niayes (2014), et ont été ajustés selon la durée du cycle de la culture dominante identifiée pour chaque zone. Le détail de ce paramétrage est renseigné dans un tableau présenté en Annexe IX.

$$\text{Valeur seuil}_{\text{zone } i} = \frac{R_{\text{chou}} \times \text{Durée cycle}_{\text{CPI}}}{\text{Durée cycle chou}} \times S_{\text{zone } i} \quad (2.16)$$

où :

- Valeur seuil  $z_{\text{zone } i}$  : valeur limite pour l'usage de l'engrais minéral dans la zone  $i$  (t/mois);
- $R_{\text{chou}}$ : recommandation pour l'engrais minéral sur la culture du chou (t/ha/cycle);
- Durée cycle  $C_{\text{Pi}}$ : durée du cycle de la culture prédominante dans la zone  $i$  (mois);
- $S_{\text{zone } i}$ : surface de la zone  $i$  (ha).

Les trois critères déterminants le processus de calibration sont la réduction des écarts entre les apports et les besoins en N, P et K, la maximisation de l'utilisation du compost végétal et du second amendement organique, et le respect des recommandations sur l'usage de l'engrais minéral. Pour chaque cas, les résultats incluaient : la masse totale d'amendement ( $X + Y + Z$ ), la part de l'engrais minéral ( $Z$ ) et les écarts résiduels sur chaque élément (N, P, K). Une combinaison optimale a été retenue par zone selon ces critères.

## **CHAPITRE 3**

### **RÉSULTATS**

Les résultats sont présentés en suivant la logique fonctionnelle du système étudié. Ils décrivent les caractéristiques spatialisées des unités de production maraîchère dans la Grande Niaye. Ils s'intéressent ensuite au gisement de matières résiduelles urbaines mobilisables pour le compostage. Enfin, ils évaluent les besoins agronomiques des sols et évaluent différents scénarios d'amendements.

#### **3.1       Organisation territoriale de la production maraîchère**

La caractérisation du territoire maraîcher de la Grande Niaye commence par l'analyse des pratiques mises en œuvre par les producteurs. Elle porte sur les types d'amendements utilisés, les fréquences d'application et les circuits de distribution des récoltes. Ces éléments permettent d'identifier les logiques de fertilisation associées aux différentes zones de production. L'ensemble des observations de terrain a été réalisé, durant la saison sèche (du 15 octobre au 15 novembre), ce qui influe à la fois sur les pratiques culturales observées et sur la disponibilité des ressources en amendements.

##### **3.1.1   Pratiques culturales et fertilisation dans la Grande Niaye**

Dans le cadre de cette étude, un total de 48 entretiens semi-dirigés ont été réalisés auprès des maraîchers répartis dans les zones 1 à 4 de la Grande Niaye de Dakar (la zone 5 n'ayant pas été couverte). Les répondants ont été identifiés de manière opportuniste, en fonction de leur disponibilité et de leur volonté de participer à l'enquête. Cette approche a permis de couvrir une diversité de profils (exploitants propriétaires et ouvriers agricoles) et de mieux appréhender les pratiques d'amendement, leur fréquence d'utilisation, ainsi que les circuits de commercialisation associés.

Les amendements les plus fréquemment cités sont le fumier de poule, le fumier de vache, le compost de fumier de bovins et le compost de fumier de volailles. Ces intrants sont associés à l'usage quasi généralisé d'engrais minéraux, notamment l'urée et les formulations NPK, notamment l'engrais minéral 10-10-20 qui est sélectionné dans cette étude en raison de sa prédominance dans les résultats de l'enquête. Le tableau 3.1 présente la synthèse des résultats par zone, incluant le nombre de producteurs enquêtés, les superficies cultivées, les effectifs extrapolés, ainsi que les pourcentages d'utilisation déclarée pour chaque type d'amendement.

Tableau 3.1 Pratiques de fertilisation et utilisation des amendements par zone

Indicateur / Amendement	Zone 1 (Patte d'Oie)	Zone 2 (Pikine)	Zone 3 (Pikine)	Zone 4 (Pikine)	Total Pikine
<b>Effectif enquêté</b>	18	12	15	3	30
<b>Superficie (ha)</b>	25	4	9	14	27
<b>Effectif total de maraîchers</b>	336 <sup>1</sup>	52 <sup>2</sup>	122 <sup>2</sup>	176 <sup>2</sup>	850 <sup>1</sup>
<b>% surface totale (60,7 ha)</b>	41	7	16	23	45
<b>Pourcentage des maraîchers interrogés utilisant l'amendement (par zone)<sup>3</sup></b>	<b>Compost (%)</b>	61	50	87	100
	<b>Fumier poule (%)</b>	22	100	40	100
	<b>Fumier mouton (%)</b>	28	67	0	67
	<b>Fumier vache (%)</b>	44	17	0	100
	<b>Fumier bœuf (%)</b>	17	25	20	0
	<b>Fumier cheval (%)</b>	94	0	40	100
	<b>Urée (%)</b>	72	100	87	100
	<b>NPK (%)</b>	94	75	53	100

<sup>1</sup> : (Niang Aminata Khoury Moundaye, 2014).

<sup>2</sup> : Les effectifs sont estimés proportionnellement à la superficie cultivée.

<sup>3</sup> : Les pourcentages indiqués correspondent à la part des producteurs enquêtés dans chaque zone ayant déclaré utiliser l'amendement concerné (réponses multiples possibles).

L'usage du fumier de poule et de l'urée est systématique en zone 2, tandis que le compost et le fumier de cheval sont plus fréquent dans la zone 1. Ces résultats révèlent une forte variabilité territoriale, qui peut s'expliquer par une logique de proximité avec les producteurs d'amendements organiques, comme les éleveurs. Ils permettent de situer les pratiques de fertilisation dans l'espace, en identifiant les types d'amendements utilisés et leur répartition

par zone. Ils constituent une première base pour relier les systèmes de culture aux dynamiques de production et aux flux de commercialisation.

### **3.1.2 Occupation du sol et caractérisation pédologique**

La répartition spatiale des cultures maraîchères est analysée à partir de la représentation complète des surfaces cultivées observables sur le territoire de la Grande Niaye. Chaque culture identifiée est associée à une couche, puis croisé avec les types de sols à partir d'un fond pédologique. Chaque zone présente des combinaisons spécifiques de cultures et de types de sols. Pour faciliter l'analyse spatiale, le territoire est divisé en cinq zones agricoles. La carte en figure 3.1 illustre cette répartition.

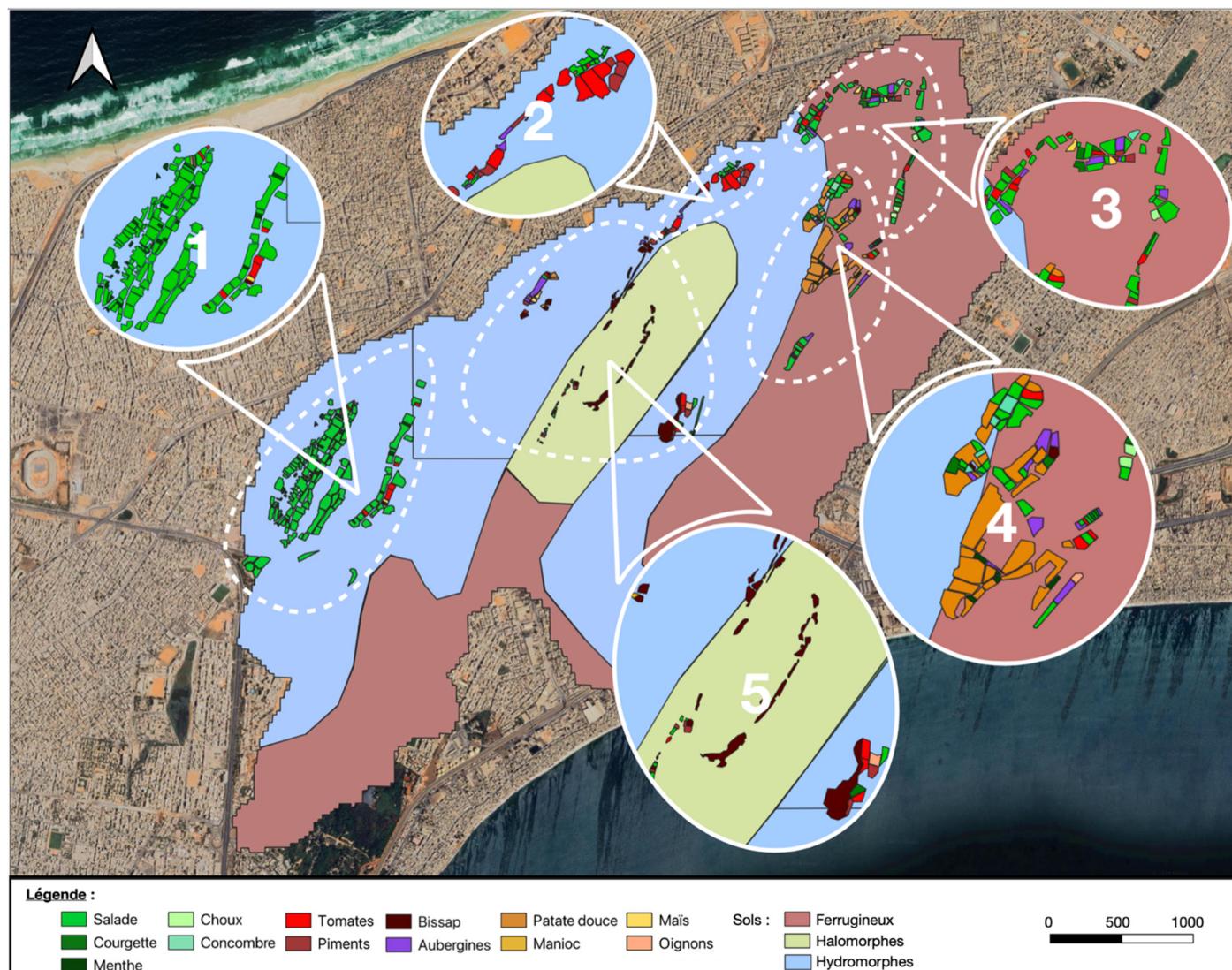


Figure 3.1 Carte de la répartition des cultures et des types de sols par zone

Les surfaces cultivées sont regroupées dans le tableau en Annexe X, qui indique, pour chaque culture, sa surface totale et sa distribution par type de sol. Les données confirment une forte spécialisation spatiale. La salade occupe la totalité des 25 ha de la zone 1, exclusivement sur sols hydromorphes. Ces résultats s'expliquent par la saison à laquelle ont été réalisé les observations de terrain. En effet, durant la saison sèche, la salade nécessite plus d'eau et d'entretien que les autres cultures, et donc se vend à des prix plus élevés, d'où la prédominance de cette culture. En zone 4, la patate douce est implantée sur plus de 6 ha, majoritairement sur sols ferrugineux. Le bissap domine la zone 5, avec plus de 4,7 ha, dont près de 45 % sur sols halomorphes. La zone 3 présente un profil différent. Elle regroupe 9 cultures distinctes, sans qu'aucune n'excède 0,75 ha. Elle témoigne d'une plus grande diversité des choix de production. Le tableau 3.2 synthétise les cultures dominantes par zone, en précisant leur part d'occupation et leur contribution à l'échelle du territoire. Il renforce le caractère spécialisé de chaque zone. La patate douce représente 97 % des surfaces en zone 4 et le bissap près de 95 % en zone 5.

Tableau 3.2 Répartition spatiale des cultures dominantes par zone en début de saison sèche froide (15/10 - 15/11)

Zone	1			2			3			4			5		
Nombre de cultures	7			6			9			11			11		
3 principales cultures	Salade	Menthe	Tomate	Tomate	Piment	Salade	Salade	Aubergine	Piment	Patate douce	Salade	Aubergine	Bissap	Aubergine	Piment
Pourcentage d'occupation de la zone (%)	92	4	3	59	21	14	59	9	8	57	21	9	56	10	8
Pourcentage d'occupation de la Grande Niaye de Dakar (%)	70	75	16	48	35	2	17	27	31	97	9	39	95	27	28

L'analyse croisée des cultures et des types de sols permet d'identifier des spécialisations territoriales claires. Elle offre un cadre de référence pour l'estimation des résidus de culture, associé aux surfaces et aux espèces cultivées dans chaque zone.

### 3.1.3 Distribution des productions et estimation des résidus de culture

La commercialisation des productions maraîchères suit des circuits bien structurés reliant les zones agricoles de la Grande Niaye aux principaux marchés urbains de Dakar. Les informations recueillies lors des entretiens permettent de reconstituer les destinations principales des produits, agrégées par zone. Le diagramme Sankey (Figure 3.2) illustre la distribution des cultures vers les marchés urbains de Dakar. Il permet d'observer les pratiques de vente déclarées lors des entretiens menés auprès des maraîchers de la Grande Niaye de Dakar (Annexe XI). Le nombre d'entretiens réalisés par zone est indiqué entre parenthèses (n), et les pourcentages figurant sur les marchés correspondent à la part des maraîchers déclarant y vendre leur production.

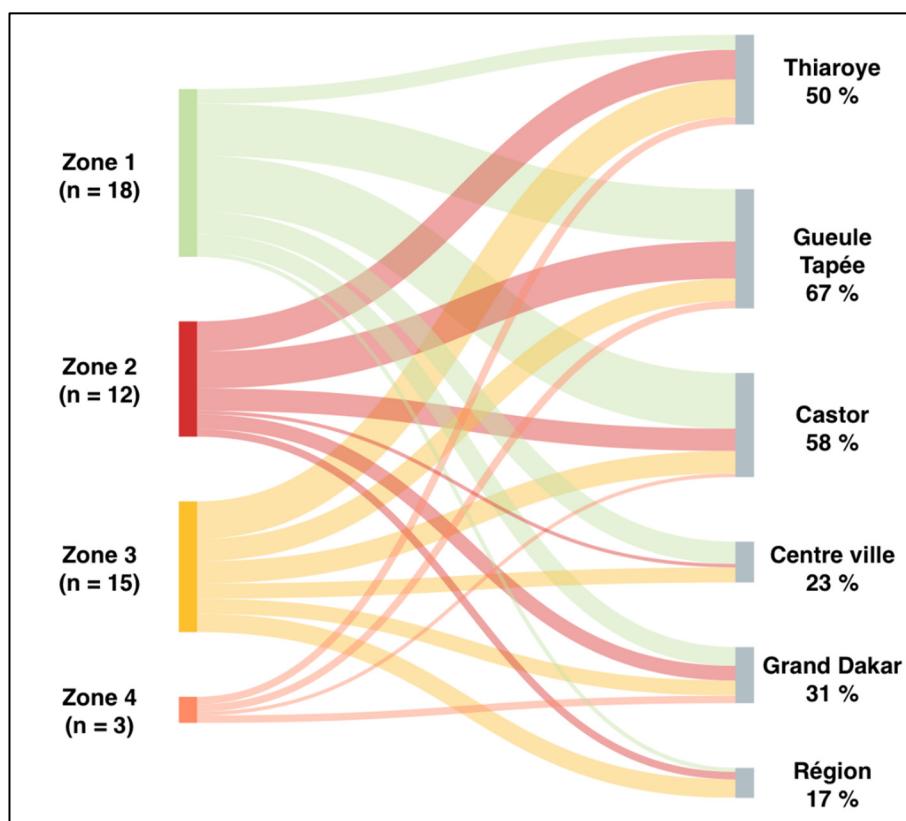


Figure 3.2 Diagramme des flux maraîchers entre zones de production et marchés destinataires

La zone « Grand Dakar » regroupe l'ensemble des marchés en dehors des arrondissements de Dakar et de Pikine. Une forte concentration des flux apparaît vers les marchés de Gueule Tapée (67 % des répondants), Castor (58 %) et Thiaroye (50 %). Ces marchés jouent un rôle de plateformes de redistribution, témoignant d'un système d'échanges bien structuré entre les zones de production et les lieux de distribution. En complément, une carte des flux de produits maraîchers a été réalisée à partir des coordonnées géographiques des zones de production et des marchés (Annexe III).

Une fois la récolte assurée par les « bana-banas », des résidus végétaux restent sur les parcelles, en particulier pour les cultures à fort développement végétatif, comme la tomate, le piment ou encore l'aubergine. Afin d'estimer les flux mensuels de résidus de culture, une démarche de quantification a été mise en œuvre à partir des paramètres agronomiques propres à chaque culture. Cette estimation repose sur la durée du cycle de production, c'est-à-dire la période nécessaire au développement complet de la culture depuis la plantation jusqu'à la récolte. Le tableau 3.3 présente la production mensuelle estimée de résidus de culture, en fonction des espèces cultivées, et leur taux de matière sèche.

Tableau 3.3 Production mensuelle de résidus de culture et taux de matière sèche associés

Cultures	Masse brute de résidus de culture <sup>1</sup> (t/cycle)	Matière sèche dans les résidus (%)	Durée pour 1 cycle de culture (mois)
<b>Courgette</b>	36	0,8	1,5 <sup>2</sup>
<b>Choux</b>	23	3,8	2,5 ( <i>Beniest, 1987</i> )
<b>Concombre</b>	28	0,8	2 <sup>2</sup>
<b>Tomates</b>	317	12	3 <sup>2</sup>
<b>Piments</b>	85	7	3 <sup>2</sup>
<b>Bissap</b>	29	3,6	1 <sup>2</sup>
<b>Aubergines</b>	147	14	2,5 <sup>2</sup>
<b>Patate Douce</b>	272	15	4,5 ( <i>Beniest, 1987</i> )
<b>Manioc</b>	1	24	10,5 ( <i>Beniest, 1987</i> )
<b>Maïs</b>	24	22,6	3,5 ( <i>Beniest, 1987</i> )

<sup>1</sup> : Les valeurs de masse de résidus de culture (t/cycle) ont été calculées en multipliant la masse de résidus par hectare et par cycle (t/ha/cycle) par la surface totale associée à chaque culture. Elles correspondent donc à la quantité totale de résidus générée à chaque cycle de production pour l'ensemble de la surface cultivée.

<sup>2</sup> : Ces informations ont été obtenues lors des entrevues semi-dirigées avec les maraîchers de Dakar.

Les données présentées dans le tableau 3.3 sont issues d'une compilation de références bibliographiques (Annexe IV). Les paramètres proviennent de la littérature scientifique sénégalaise et internationale, en fonction de leur disponibilité. Les valeurs de masse de résidus et de matière sèche ont ensuite été estimées à partir de ces sources et ne résultent pas d'observations directes sur le terrain. Elles fournissent donc une approximation théorique destinée à quantifier les flux mobilisables à des fins de valorisation. Ces résidus de cultures connaissent une forte variabilité, tant en volume qu'en teneur en matière sèche. La masse totale des résidus de culture est calculée, pour chaque culture, pour un cycle de production. Les résultats sont synthétisés à la figure 3.4, qui présente à la fois la dynamique cyclique des résidus en tonnes, et l'évolution du taux de matière sèche du mélange.

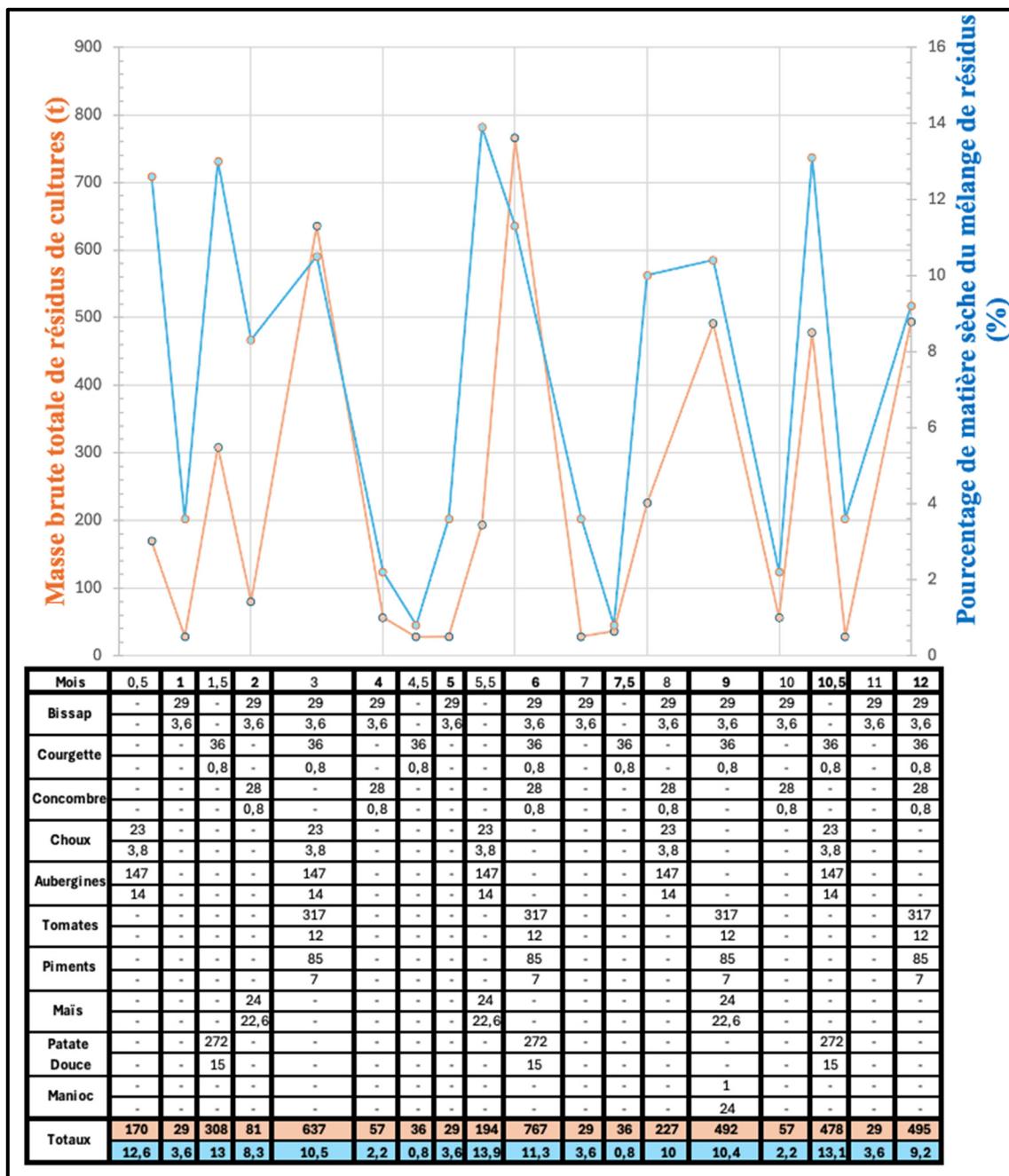


Figure 3.3 Évolution annuelle des résidus de culture et de leur teneur en matière sèche

L'évolution annuelle de la masse cyclique des résidus de culture et de leur teneur en matière sèche révèle une forte variabilité mensuelle. Cette dynamique reflète l'enchaînement des successions culturales dans un système supposé continu, où les cultures sont immédiatement

replantées sans rotation après récolte. Sur l'année de référence (année 2), les volumes mensuels de résidus fluctuent entre 29 et 767 t, avec un maximum observé au mois 6, principalement lié à la récolte simultanée de cultures à haut rendement telles que la tomate, la courgette ou la patate douce. Parallèlement, la teneur en matière sèche globale (MS) varie entre 0,8 % et 13,9 %, avec des écarts notables d'un mois à l'autre. Bien que la moyenne brute mensuelle soit estimée à environ 230 t de résidus, cette valeur masque des disparités entre les périodes. Pour mieux caractériser cette dynamique, des moyennes mobiles trimestrielles ont été calculées. Celles-ci permettent de lisser les fluctuations ponctuelles et d'identifier des périodes de concentration de la production, notamment autour des mois 3, 6, 9, 10 et 12 où les volumes de résidus atteignent ou dépassent les 500 t. Ce traitement statistique n'a pas pour but de corriger la moyenne brute, mais bien de restituer des tendances saisonnières observables visuellement sur la figure 3.3. Ainsi, les moyennes mobiles offrent une lecture plus opérationnelle du gisement mobilisable sur le terrain, en permettant d'anticiper les périodes les plus propices à la collecte et à la valorisation.

L'étude des circuits de distribution et des volumes de résidus générés en sortie de champ constitue une première étape dans l'évaluation du gisement organique mobilisable. Elle est ensuite croisée avec les apports urbains issus des marchés pour évaluer le potentiel global de valorisation.

### **3.2 Gisement urbain et potentiel de compostage**

Après avoir estimé les résidus issus de la production maraîchère, l'analyse s'intéresse à une autre source de biomasse organique : les matières résiduelles issues des marchés urbains. Elle vise à quantifier le gisement mobilisable, à évaluer sa composition, et à modéliser son potentiel de valorisation par compostage.

### **3.2.1 Caractérisation des flux de déchets des marchés**

Les sept principaux marchés urbains de Dakar, soit Thiaroye, Sandika, Castor, Gueule Tapée, Grand Yoff, Tilène et Zinc, constituent des points de concentration de matières résiduelles organiques (MROs). La quantification des ces flux repose sur les taux de rotation journaliers observés et les volumes moyens de déchets par jour. La Figure 3.4, élaborée à partir des informations transmises par les gestionnaires des marchés et les agents de la SONAGED en charge de la collecte, localise les principaux marchés urbains et précise les flux estimés de matières résiduelles organiques qu'ils génèrent quotidiennement.

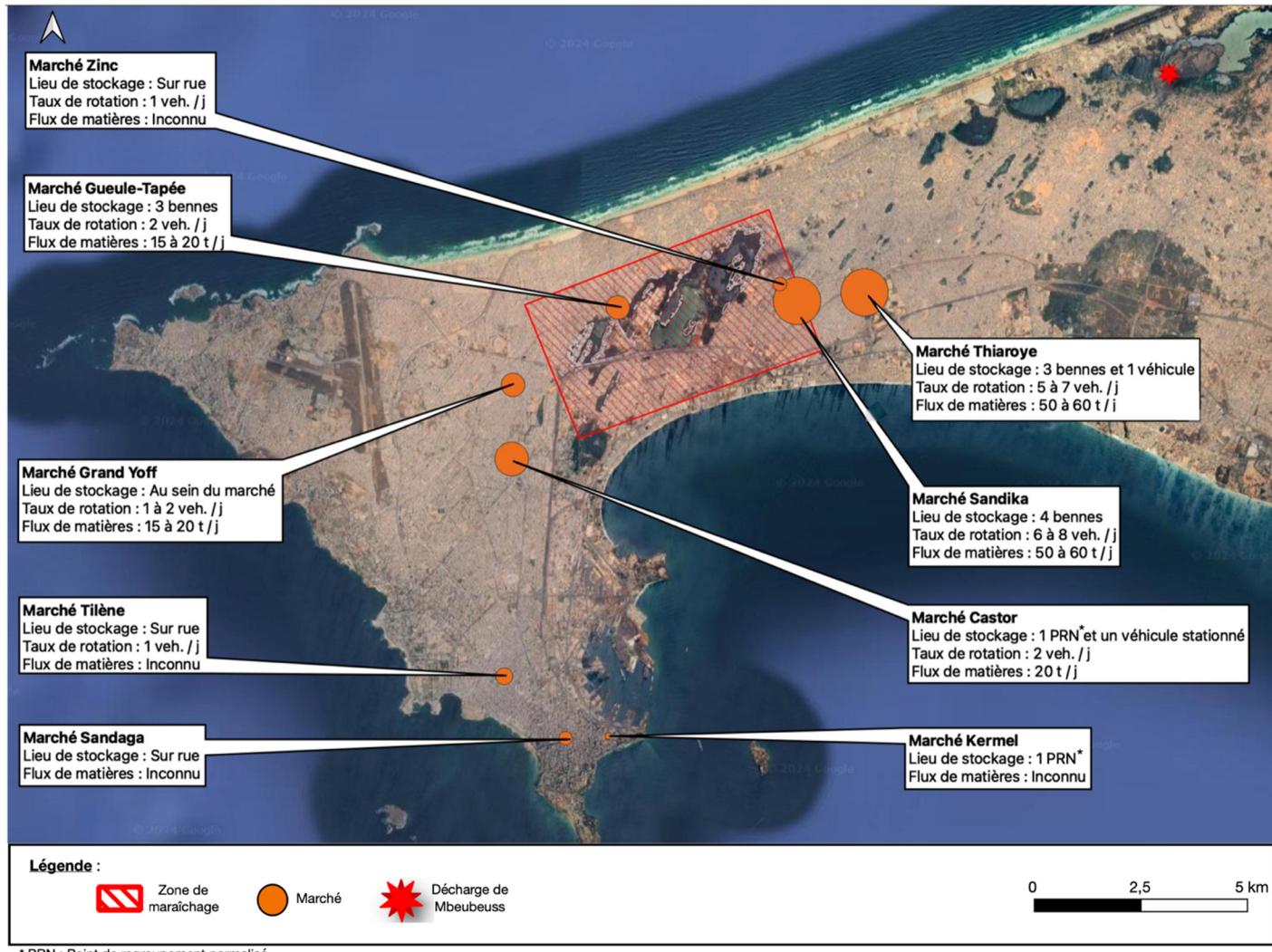


Figure 3.4 Répartition des principales sources de MROs

À partir de cette carte, le tableau 3.4 présente les estimations de production de déchets par marché, la matière organique et les cartons-papiers générés. Les marchés de Thiaroye et Sandika génèrent à eux seuls plus de 50 % des MROs totales, avec des volumes journaliers compris entre 50 et 60 t. La teneur moyenne des déchets en matières organiques est d'environ 48 %, mais cette part peut augmenter jusqu'à 78 % pour le marché Castor, et diminuer à environ 35 % dans le marché Grand Yoff (Thiam Ndiaye, communication personnelle, 2025). Les fractions de cartons et papiers, bien que minoritaires, représentent environ 500 t par mois.

Tableau 3.4 Estimation de la masse mensuelle de MROs et de cartons produits par les marchés urbains de Dakar

<b>Marché</b>	<b>Taux de rotation</b> (véhicule/ jour)	<b>Masse de déchets</b> (t/ jour)	<b>Pourcentage de matière organique</b> (%)	<b>Masse de matières organiques</b> (t/jour)	<b>Pourcentage de carton-papiers</b> (%)	<b>Masse de carton-papiers</b> (t/jour)
Thiaroye	5 à 7	50 à 60	48 <sup>1</sup>	26	9	5
Sandika	6 à 8	50 à 60	48	26		5
Castor	2	20	78	16		2
Gueule-Tapée	2	15 à 20	48	8		2
Grand-Yoff	1 à 2	15 à 20	35	6		2
Tilène	1	10	48	5		1
Zinc	1	10	48	5		1
			Masse totale mensuelle (t/ mois) <sup>2</sup>	2776	Masse totale mensuelle (t/ mois) <sup>2</sup>	500

<sup>1</sup> : Pourcentage moyen de MO pour les marchés (SONAGED).

<sup>2</sup> : La base mensuelle a été établi pour une hypothèse de 30 jours.

Aux flux de résidus organiques et de papier-cartons s'ajoutent les résidus de culture estimés dans la section 3.1.3. Le bilan global mensuel, présenté dans le tableau 3.5, compile les MROs et les cartons-papiers issues des marchés, et les résidus de culture. Il précise pour chaque composante la masse produite, son taux de matière sèche, et la masse de matière sèche effectivement mobilisable. Sur les 1617 t de matière sèche mobilisables par mois, la majorité provient des MROs des marchés (1249 t), suivis des cartons-papiers (363 t) et des résidus de

culture (5 t). Ces données constituent la base d'entrée de la modélisation du processus de compostage.

Tableau 3.5 Matières résiduelles organiques mobilisables des marchés en quantité mensuel de matière sèche

Matières organiques	Masse mensuelle produite (t/trimestre)	Taux de matière sèche (%)	Masse de matière sèche (t/mois )	Total de matière sèche (t/mois )
Matière organique	8328	45	1249	1617
Carton-papiers	1500	72,5	363	
Résidus de culture <sup>1</sup>	230	7	5	

<sup>1</sup> : Estimation réalisée à partir de l'évolution de la quantité de résidus produits sur 1 an.

L'estimation des flux de matières résiduelles permet désormais de caractériser leur potentiel de valorisation, en intégrant leur biodégradabilité et leur comportement au cours du processus de compostage.

### 3.2.2 Biodégradabilité et dynamique de dégradation

L'évolution de la matière organique collectée sur le territoire est simulée à partir de sa fraction biodégradable, représentée par la matière sèche volatile (MSV). L'objectif est d'évaluer les pertes attendues, à partir de la vitesse de dégradation des matières organiques au cours du processus de compostage. La modélisation repose sur un suivi mensuel de la masse de matière biodégradable restante ( $S(t)$ ), en prenant pour référence une masse initiale de 1 396 t de matière sèche volatile (tableau 2.1). Ce modèle n'a pas fait l'objet d'une validation expérimentale. Il s'agit d'une simulation théorique basée sur des hypothèses issues de la littérature, dans le but d'illustrer une dynamique plausible de dégradation de la matière organique dans un cadre de compostage standardisé.

Tableau 3.6 Évolution mensuelle de la matière sèche volatile biodégradable restante ( $S(t)$ ) au cours du compostage

Phase	Mois	k (jour <sup>-1</sup> )	Temps écoulé (jours)	Masse de MSV initiale $S_{init}$ (t)	Masse de MSV restante $S_{fin}$ (t)	État du compost
Départ	0		0	1396		
Thermophile	1	0,1	30	1396	70	Compost instable et immature
	2		60	70	3,5	
Mésophile	3	0,05	90	3,5	0,77	Compost instable et immature
	4		120	0,77	0,17	
	5		150	0,17	3,84E-02	
	6		180	3,84E-02	8,58E-03	
Maturation	7	0,02	210	8,58E-03	4,71E-03	Compost stabilisé mais immature
	8		240	4,71E-03	2,58E-03	
	9		270	2,58E-03	1,42E-03	
	10		300	1,42E-03	7,78E-04	
	11		330	7,78E-04	4,27E-04	
	12		360	4,27E-04	2,34E-04	

1 : Matière sèche volatile.

Les résultats montrent qu'après la fin du troisième mois, la masse de matière sèche volatile, considérée par Mason (2009) comme une estimation de la masse biodégradable, est réduite à 0,77 t, ce qui correspond à plus de 95 % de la matière biodégradable qui est décomposée. Toutefois, à ce stade, le compost reste instable et immature, du fait d'une activité biologique encore élevée et d'une composition organique non stabilisée. La phase mésophile qui suit permet une réduction plus progressive de la matière résiduelle. À l'issue du sixième mois, la masse de MSV restante est estimée à 8,5 kg, soit une fraction négligeable du stock initial. Le compost est alors stabilisé, mais encore immature, ce qui nécessite une période de maturation supplémentaire pour garantir son efficacité agronomique. La dégradation se poursuit de manière lente, jusqu'à atteindre une masse résiduelle d'environ à 0,2 kg au bout d'un an. Ce niveau de dégradation permet de considérer le compost comme mûr.

Ces résultats montrent que la matière organique collectée présente une biodégradabilité, et une perte de masse significative concentrée dans les premiers mois du processus. Ils soulignent l'intérêt d'un suivi temporel pour adapter les durées de compostage aux objectifs de qualité

finale recherchés. En l'état, une durée minimale de 6 à 9 mois semble nécessaire pour garantir la production d'un compost stabilisé, tandis que 12 mois sont recommandés pour l'obtention d'un produit pleinement mature. L'analyse de la dynamique de dégradation de la matière sèche volatile permet de simuler l'évolution du compost au fil du temps, en identifiant les seuils de stabilisation. Elle constitue une première base technique utile pour l'opérationnalisation de la valorisation, en aidant à définir des durées de compostage adaptées et des critères de maturité pour la gestion des flux.

### **3.2.3 Estimation du compost théoriquement mobilisable**

À partir des 1617 t de matière sèche mobilisables chaque mois, la quantité de compost potentiellement produite est estimée en tenant compte des pertes massiques liées au processus de compostage et de l'humidité finale du produit. Le tableau 3.7 présente les résultats de cette estimation.

Tableau 3.7 Estimation de la masse mensuelle de compost potentiellement produite à partir de la matière sèche disponible

Matière sèche totale produite (t/mois)	Taux de perte de masse pendant compostage <sup>1</sup> (%)	Masse de compost sec produite (t/mois)	Teneur en eau finale du compost mûr <sup>2</sup> (%)	Masse de compost mûr humide produite <sup>3</sup> (t/mois)
1 617	48	841	45	1529

<sup>1</sup> : (McGaughy et al., 2024)

<sup>2</sup> : (Diome, 1995)

<sup>3</sup> : (FAO, 2012)

La masse mensuelle de compost humide est estimée à près de 1500 t. Cette estimation constitue une base de référence pour évaluer la capacité de réponse locale aux besoins en amendements des sols agricoles de la Grande Niaye.

### **3.3 Évaluation des besoins agronomiques et stratégie d'amendement**

La quantification des besoins agronomiques du territoire en matière organique et en éléments minéraux est désormais nécessaire, afin d'évaluer la capacité des composts urbains à répondre aux exigences des systèmes maraîchers. Deux approches complémentaires sont mobilisées : une première basée sur les stocks de matière organique à reconstituer ou maintenir dans les sols, une seconde fondée sur les besoins des cultures en azote, phosphore et potassium. Ces deux dimensions permettent d'élaborer des scénarios d'amendement adaptés, en croisant les types de composts disponibles.

#### **3.3.1 Besoins en matière organique des sols**

Les quantités d'amendement organique à appliquer ont été calculées à partir du modèle de Hénin-Dupuis, en mobilisant les caractéristiques physico-chimiques des sols identifiés dans la Grande Niaye de Dakar (hydromorphes, ferrugineux et halomorphes). Pour chacun d'eux, les paramètres pris en compte incluent la teneur actuelle en matière organique (MO), la teneur cible souhaitée, la densité apparente, ainsi que le coefficient de minéralisation ( $k_2$ ) propre au sol et le coefficient d'humification ( $k_1$ ) associé à l'amendement utilisé. Les calculs ont permis d'estimer, pour chaque combinaison sol–amendement, une dose initiale d'amendement à appliquer pour atteindre la teneur cible en MO ( $I_{\text{initial}}$ ) et une dose d'entretien, exprimée annuellement et mensuellement ( $I_{\text{entretien}}$ ), nécessaire pour maintenir cette teneur dans le temps malgré la minéralisation naturelle.

Le tableau 3.8 synthétise ces résultats en croisant les types de sols avec les cinq amendements organiques sélectionnés : fumier de poule, fumier de vache, compost végétal, et deux mélanges compost–fumier, issus de la décomposition d'un fumier avec un substrat végétal.

Tableau 3.8 Apports bruts en matière organique nécessaires par type de sol et amendement

Type de sol	Teneur en MO (%)		Densité moyenne (g/cm³)	Coefficient de minéralisation (k₂) (%/an)	Amendement organique utilisé	Coefficient isohumique (k₁)	I <sub>initial</sub> pour atteindre la teneur cible T <sub>c</sub> (t/ha)	I <sub>entretien</sub> pour maintenir T <sub>c</sub>	
	Valeur actuelle	Valeur cible						(t/ha/an)	(t/ha/mois)
<b>Hydromorphe</b>	0,680	2,80	1,60	2,5	Fumier de poule	0,4	1,70	5,60	0,47
					Fumier de vache	0,52	1,30	4,31	0,36
					Compost végétal	0,54	1,26	4,15	0,35
					Mélange compost-fumier	0,61	1,11	3,67	0,31
<b>Ferrugineux</b>	0,738	1,50	1,66	2,5	Fumier de poule	0,4	0,63	3,11	0,26
					Fumier de vache	0,52	0,49	2,39	0,20
					Compost végétal	0,54	0,47	2,31	0,19
					Mélange compost-fumier	0,61	0,41	2,04	0,17
<b>Halomorphe</b>	1,010	1,80	1,75	2,0	Fumier de poule	0,4	0,79	3,15	0,26
					Fumier de vache	0,52	0,61	2,42	0,20
					Compost végétal	0,54	0,59	2,33	0,19
					Mélange compost-fumier	0,61	0,52	2,07	0,17

Les besoins en matières organiques sont ensuite convertis en quantités d'amendements bruts à appliquer, à partir de la teneur moyenne en MO des différents intrants organiques. Le tableau 3.9 indique les volumes d'amendements organiques à mobiliser, exprimés en tonnes par hectare, pour d'une part, atteindre la teneur cible en MO et, d'autre part, maintenir la teneur cible en MO en fonction de chacun des trois types de sol.

Tableau 3.9 Quantités d'amendements organiques à mobiliser pour atteindre ou maintenir la teneur cible

Amendement organique	MO (kg/t)	I <sub>initial pour atteindre la teneur cible Tc</sub> (t/ha)			I <sub>entretien mensuel pour maintenir Tc</sub> (t/ha/mois)		
		Hydromorphe	Ferrugineux	Halomorphe	Hydromorphe	Ferrugineux	Halomorphe
<b>Fumier de poule</b>	500	3,4	1,3	1,6	0,9	0,5	0,5
<b>Fumier de vache</b>	185	7,1	2,6	3,3	1,9	1,1	1,1
<b>Compost végétal</b>	162	7,8	2,9	3,6	2,1	1,2	1,2
<b>Compost de fumier de bovins</b>	177	6,3	2,3	2,9	1,7	1,0	1,0
<b>Compost de fumier de volailles</b>	247	4,5	1,7	2,1	1,2	0,7	0,7

Enfin, les besoins en amendements organiques sont extrapolés à l'échelle des cinq zones agricoles identifiées dans la Grande Niaye de Dakar. Cette extrapolation repose sur les superficies cultivées dans chaque zone, ainsi que sur la nature des sols dominants, tels qu'identifiés lors du diagnostic agro-pédologique. Les doses unitaires d'apport initial, visant à atteindre la teneur cible en matière organique dans l'horizon superficiel du sol (0 - 20 cm), ainsi que les apports mensuels nécessaires à l'entretien de cette teneur face à la minéralisation naturelle, ont été appliqués aux superficies agricoles de chaque zone afin d'estimer les besoins totaux en amendements organiques. Le tableau 3.10 présente ainsi, pour chaque combinaison zone-type de sol, les quantités totales d'amendements organiques à apporter, exprimées en tonnes, selon cinq scénarios d'amendement : fumier de poule, fumier de vache, compost végétal, compost de fumier de bovins, et compost de fumier de volailles.

Tableau 3.10 Besoins en amendement organique pour atteindre et maintenir le stock cible de MO par zone agricole de la Grande Niaye

Zone	Type de sol	Superficie (ha)	I <sub>initial</sub> pour atteindre la teneur cible Tc (t)					Unités
			Fumier de poule	Fumier de vache	Compost végétal	Compost de fumier de bovins	Compost de fumier de volailles	
1	Hydromorphe	25,0	85	176	194	157	113	(t)
			23	49	53	43	31	(t/mois)
2	Hydromorphe	4,0	14	28	31	25	18	(t)
			4	8	9	7	5	(t/mois)
3	Hydromorphe	1,1	14	30	33	26	19	(t)
	Ferrugineux	8,3	5	11	12	10	7	(t/mois)
4	Hydromorphe	2,2	22	46	51	41	29	(t)
	Ferrugineux	11,6	8	17	18	15	11	(t/mois)
5	Halomorphe	2,6	24	50	55	45	32	(t)
	Hydromorphe	5,9	7	14	16	13	9	(t/mois)
Grande Niaye de Dakar		60,7	159	330	363	294	211	(t)
			47	98	108	88	63	(t/mois)

Les quantités nécessaires pour maintenir les stocks de matière organique (MO) varient significativement selon le type d'amendement mobilisé. À l'échelle de la Grande Niaye de Dakar, les apports mensuels requis se situent entre 50 et 110 t/mois, selon la nature du produit considéré. Parmi les amendements analysés, le fumier de poule est celui pour lequel les quantités nécessaires pour satisfaire le besoin mensuel sont les plus faibles, avec une estimation de 47 t pour l'ensemble de la Grande Niaye. Il est suivi du compost de fumier de volailles, avec un besoin estimé à 63 t/mois. Ces deux amendements se distinguent par leur teneur élevée en matière organique, limitant ainsi les volumes bruts à mobiliser. À l'inverse, le compost végétal, du fait de sa plus faible concentration en MO, nécessite des volumes d'apport plus importants, atteignant 108 t/mois pour assurer le maintien du stock cible. Afin d'évaluer la pertinence de ces résultats, les besoins en amendements organiques obtenus ont été comparés aux références agronomiques disponibles dans la littérature. Les recommandations sont issues de la littérature sénégalaise ainsi que de publications africaines ou internationales portant sur

des contextes agroécologiques comparables (zones sahéliennes et soudanaises notamment). Le tableau 3.11 présente cette mise en perspective.

Tableau 3.11 Comparaison des besoins en amendement organique avec la littérature

Amendement	Apport annuel en amendement pour la grande Niaye de Dakar (t/ha/an)	Recommandations (t/ha/an)	Zone d'étude concernée
Fumier de poule	9,4	10 - 15 (Liniger, Mekdaschi Studer, Hauert, & Gurtner, 2011; Manlay, 2000)	Sols sableux ferrugineux et hydromorphes
Fumier de vache	19	15 - 20 (Mustapha, Lungu Obed, I., & Bationo, A., 2006; Manlay, 2000)	Sols ferrugineux lixisol en savane
Compost végétal	21	20 - 30 (Saidou, Balogoun, Kone, Gnangle, & Aho, 2013; Dugué, Andrieu, & Bakker, 2024)	Zones sahéliennes et soudanaises
Compost de fumier de bovins	17	15 - 25 <sup>1</sup> (Liniger, Mekdaschi Studer, Hauert, & Gurtner, 2011; Dugué, Andrieu, & Bakker, 2024)	Sols sableux pauvres en MO
Compost de fumier de volailles	12		

<sup>1</sup> : Plage de référence pour les composts de fumier.

Globalement, les résultats obtenus confirment que les apports nécessaires pour maintenir ou restaurer le stock de matière organique des sols de la Grande Niaye restent compatibles avec les normes agronomiques établies. Ces estimations d'apports organiques sont ensuite complétées par une analyse des besoins en éléments majeurs pour couvrir les exigences nutritionnelles des cultures en place.

### 3.3.2 Besoins en éléments fertilisants des cultures (NPK)

Les besoins en éléments nutritifs majeurs (azote (N), phosphore (P) et potassium (K)) ont été estimés pour les principales cultures maraîchères de la Grande Niaye de Dakar. Ces apports minéraux sont envisagés en complément de la reconstitution du stock de matière organique des

sols, afin de répondre aux exigences nutritionnelles immédiates des cultures et de soutenir leur productivité. Ils visent à couvrir les besoins spécifiques des plantes au-delà de ce que permet la seule amélioration du taux de matière organique. Les références utilisées dans le tableau 3.12 proviennent principalement de Beniest (1987) et Fall (2001), complétées par des données recensées en Annexe VIII.

Tableau 3.12 Recommandations des besoins en N-P-K des principales cultures

<b>Culture</b>	<b>Besoin en N-P-K (kg/ha/cycle)</b>	<b>Durée pour 1 cycle de culture (mois)</b>
<b>Salade</b>	90 - 90 - 180	1,5 <sup>1</sup>
<b>Courgette</b>	110 - 110 - 220	1,5 <sup>1</sup>
<b>Menthe</b>	175 - 75 - 175	0,5 <sup>1</sup>
<b>Chou</b>	172,5 - 89 - 178	2,5 <i>(Beniest, 1987)</i>
<b>Concombre</b>	100 - 100 - 200	2 <sup>1</sup>
<b>Tomates</b>	143 - 110 - 237	3 <sup>1</sup>
<b>Piments</b>	45 - 45 - 90	3 <sup>1</sup>
<b>Bissap</b>	90 - 90 - 180	1 <sup>1</sup>
<b>Aubergines</b>	125 - 125 - 250	2,5 <sup>1</sup>
<b>Patate douce</b>	90 - 90 - 180	4,5 <i>(Beniest, 1987)</i>
<b>Manioc</b>	60 - 60 - 120	10,5 <i>(Beniest, 1987)</i>
<b>Maïs</b>	85 - 4 - 46	3,5 <i>(Beniest, 1987)</i>
<b>Oignon</b>	83 - 77 - 158	3 <sup>1</sup>

<sup>1</sup> : Ces informations ont été obtenues lors des entrevues semi-dirigées avec les maraîchers de Dakar.

Il convient toutefois de rappeler que, dans la pratique, les apports en compost sont généralement réalisés avant le démarrage effectif de la saison culturelle, afin d'anticiper la minéralisation de la matière organique et garantir la disponibilité des nutriments au bon moment. De plus, l'application de compost entraîne une amélioration progressive de la fertilité des sols. Une fraction des nutriments apportés demeure dans le sol sous forme stable, et

contribue à une fertilisation résiduelle. Cette valeur résiduelle n'est pas prise en compte dans l'estimation des besoins mensuels, mais elle constitue un levier important pour la durabilité de la fertilisation organique.

À partir de ces besoins unitaires par cycle, les besoins mensuels ont été calculés en fonction de la durée moyenne de culture (exprimée en mois). Cette durée a été définie pour chaque culture à partir des entretiens et de la littérature grise. Le Tableau 3.13 détaille les résultats pour la zone 1 présentée comme exemple. Les autres zones sont traitées en Annexe XII. Une forte demande est observée pour la menthe, dont le cycle court génère des besoins élevés en N, P et K par unité de temps. En revanche, la salade, culture prédominante dans la zone, requiert des apports modérés.

Tableau 3.13 Estimation des besoins mensuels en N-P-K pour la zone 1

Zone 1				
Légumes	Surface (ha)	Besoins en N-P-K (kg/ha/ <sup>1</sup> cycle)	Durée de culture (mois) <sup>2</sup>	Besoins en N-P-K (kg/ha/mois)
Salade	23	90 - 90 - 180	1,5	60 - 60 - 120
Courgette				
Menthe	1,02	175 - 75 - 175	0,5	350 - 150 - 350
Choux				
Concombre				
Tomates	0,76	143 - 110 - 237	3	48 - 37 - 79
Piments				
Bissap	0,07	90 - 90 - 180	1	90 - 90 - 180
Aubergines				
Patate Douce				
Manioc	0,03	60 - 60 - 120	10,5	6 - 6 - 11
Maïs	0,08	85 - 4 - 46	3,5	24 - 1 - 13
Oignon	0,08	83 - 77 - 158	3	28 - 26 - 53
<b>Surface totale (ha)</b>	<b>25,0</b>	<b>Besoins totaux en N-P-K pour la zone 1 (kg/mois)</b>		<b>1781 - 1567 - 3189</b>

<sup>1</sup> : Cycle de production (du repiquage à la récolte)

<sup>2</sup> : Ces informations proviennent de Beniest (1987) et des entrevues semi-dirigées avec les maraîchers de Dakar.

En croisant les besoins unitaires mensuels avec les surfaces cultivées dans les cinq zones agricoles, les besoins totaux par zone ont été estimés. Le Tableau 3.14 présente la synthèse des besoins en N-P-K à l'échelle mensuelle, par zone et pour l'ensemble du territoire. La zone 1, en raison de sa surface, concentre à elle seule près de la moitié des besoins globaux, estimés à 3637 kg-N/mois, 3288 kg-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/mois et 6673 kg-K<sub>2</sub>O/mois pour l'ensemble de la Grande Niaye.

Tableau 3.14 Besoins mensuels en N-P-K pour chaque zone de la Grande Niaye

Zone		1	2	3	4	5	Grande Niaye de Dakar
Besoins totaux (kg/mois)	N	1781	167	517	563	609	3637
	P	1567	142	490	508	581	3288
	K	3189	295	988	1030	1171	6673

Une optimisation est ensuite menée, à travers différents scénarios de fertilisation, pour estimer les apports nécessaires pour répondre aux besoins précédemment établis.

### 3.3.3 Optimisation des scénarios d'apports

Sur la base des besoins mensuels en N, P et K estimés pour les cinq zones de la Grande Niaye, une modélisation des apports combinés en amendements organiques et en engrais minéraux a été menée. Le problème d'optimisation s'appuie sur la méthode du gradient réduit généralisé (GRG non linéaire) du solveur Excel, permettant d'ajuster les quantités de trois produits (deux amendements organiques et un engrais de type 10-10-20) pour minimiser les écarts entre les apports et les besoins. Pour paramétrier les seuils d'utilisation du 10-10-20 par zone, une méthode de transposition proportionnelle a été utilisée à partir de la recommandation technique de 400 kg/ha/cycle, formulée par l'Association des Unions Maraîchères des Niayes (2014) pour le chou. Cette recommandation correspond à un cycle de 2,5 mois, soit une équivalence de 160 kg/ha/mois. À partir de cette valeur mensuelle, des recommandations spécifiques ont été calculées pour chaque zone selon la culture dominante identifiée dans le tableau 3.2, en multipliant la durée moyenne du cycle de la culture dominante par la base mensuelle de 160 kg/ha/mois. Ainsi, quatre scénarios ont été testés par zone, en intégrant systématiquement le compost végétal et un second amendement organique. Les résultats de la zone 1 sont présentés dans le tableau 3.15, et les autres zones sont présentées en Annexe XIII.

Tableau 3.15 Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 1

<b>Zone 1 : Besoins totaux en N-P-K : 1781 - 1567 - 3189 (kg/mois)</b>							
Combinaison	Compost végétal (t/mois)	Amendement 2 <sup>1</sup> (t/mois)	10-10-20 (t/mois)	Masse totale (t/mois)	Déficit N (kg)	Déficit P (kg)	Déficit K (kg)
<b>Compost végétal + Fumier de poule + 10-10-20</b>	158	1	6	<b>165</b>	17	0	1160
<b>Compost végétal + Fumier de vache + 10-10-20</b>	160	1	6	<b>167</b>	0	5	1154
<b>Compost végétal + Compost de fumier de bovins + 10-10-20</b>	158	1	6	<b>165</b>	22	0	1164
<b>Compost végétal + Compost de fumier de volailles + 10-10-20</b>	158	1	6	<b>165</b>	17	0	1161

<sup>1</sup> : Fumier ou compost de fumier choisis dans la combinaison.

Les valeurs du tableau 3.15 montrent que des écarts importants, sont obtenus pour la zone 1, notamment pour le potassium. Ce déficit est directement induit par le choix des contraintes imposées, qui favorisent la sous-fertilisation au lieu de sur-fertiliser. Toutefois, tous les scénarios permettent de couvrir la quasi-totalité des besoins en azote (N) et en phosphore (P), avec un déficit maximum en potassium (K) de 1164 kg/mois, soit environ 47 kg/ha/mois. Le scénario intégrant le fumier de vache présente les écarts les plus faibles, et semble être le plus adapté à la zone 1. De manière générale, le recours à l'engrais minéral apparaît comme une composante nécessaire pour optimiser chaque scénario, en contribuant à minimiser la fonction objective définie comme la somme des écarts absolus entre les apports et les besoins en éléments fertilisants dans chaque zone. Cela semble mettre en évidence une dépendance à ce produit pour couvrir les besoins des cultures. À l'échelle de la Grande Niaye, les masses mensuelles et annuelles nécessaires pour chaque scénario sont détaillées dans le tableau 3.16.

Tableau 3.16 Estimation des masses mensuelles et annuelles d'amendements et engrais nécessaires

Combinaison	Grande Niaye de Dakar								
	Compost végétal	Amendement 2 <sup>1</sup>	10-10-20	Compost végétal	Amendement 2 <sup>1</sup>	10-10-20	Compost végétal	Amendement 2 <sup>1</sup>	10-10-20
	(t/mois)	(t/an)			(t/ha/an)				
<b>Compost végétal + Fumier de poule + 10-10-20</b>	262	11	15	3144	132	180	52	2	3
<b>Compost végétal + Fumier de vache + 10-10-20</b>	273	9	15	3280	110	183	54	2	3
<b>Compost végétal + Compost de fumier de bovins + 10-10-20</b>	268	9	15	3214	105	180	53	2	3
<b>Compost végétal + Compost de fumier de volailles + 10-10-20</b>	262	11	15	3149	127	180	52	2	3

<sup>1</sup> : Fumier ou compost de fumier choisis dans la combinaison.

Les besoins annuels en amendement organique varient entre 52 et 54 t/ha/an pour le compost végétal, et sont de 2 t pour le fumier brut ou composté. Le recours à l'engrais minéral reste contenu dans toutes les simulations, autour de 3 t/ha/an, et respecte l'ordre de grandeurs préconisées par l'Association des Unions maraîchères des Niayes (2014), ce qui limite le risque de déséquilibres minéraux ou de pollution. Enfin, les résultats sont comparés dans le tableau 3.17 aux capacités locales de production en compost végétal estimées à partir du gisement de MROs mobilisables. La comparaison semble mettre en évidence la faisabilité d'un approvisionnement localisé.

Tableau 3.17 Comparaison entre la demande agricole en compost végétal et le potentiel de production régional

<b>Besoin maximal en compost végétal<sup>1</sup></b> (t/mois)	<b>Capacité de production optimale</b> (t/mois)	<b>Fraction minimum de MROs à capter pour couvrir les besoins de la Grande Niaye de Dakar</b> (%)
273	1529	18

<sup>1</sup> : Valeur obtenue pour le scénario combinant, compost végétal, fumier de vache et 10-10-20.

Seuls 18 % des matières résiduelles organiques sembleraient suffir pour satisfaire les besoins en compost végétal de l'ensemble du territoire. Ce ratio souligne le fort potentiel de valorisation locale. Ce besoin mensuel maximal de 273 tonnes de compost végétal correspond à un captage mensuel de 289 tonnes MRO sèches (exprimées en matière sèche), nécessaire pour satisfaire la demande agricole.

L'ensemble des résultats présentés permet de dresser un bilan global dans la zone de la Grande Niaye de Dakar, et d'évaluer sa capacité à répondre aux besoins agronomiques des systèmes maraîchers locaux. Les analyses agronomiques ont mis en évidence des besoins mensuels significatifs en matière organique et en éléments fertilisants. Plusieurs scénarios d'optimisation ont été proposés, en combinant des amendements organiques et un engrais minéral de type 10- 10 -20. À l'échelle du territoire, les besoins en compost végétal varient entre 262 à 273 t/mois. En parallèle, l'analyse des flux de MROs montre que la capacité de production est d'environ 1529 t de compost mûr humide par mois. La valorisation d'une fraction d'environ 18 % des flux disponibles suffirait à couvrir les besoins de la Grande Niaye de Dakar, ce qui met en évidence un potentiel de transformation de la chaîne de traitement, et permet d'envisager la mise en place d'un dispositif de compostage territorial. Toutefois, l'opérationnalisation de cette démarche repose sur de nombreuses conditions, logistiques, institutionnelles et comportementales.

## **CHAPITRE 4**

### **DISCUSSION**

Cette discussion vise à explorer des perspectives opérationnelles, en confrontant les modélisations théoriques aux réalités techniques, agronomiques et sociales du territoire étudié. Une part des matières résiduelles organiques produites sur les marchés de Dakar semblerait pouvoir être valorisée localement sous forme de compost afin de répondre aux besoins en matière organique et en éléments minéraux des cultures maraîchères pratiquées dans la Grande Niaye de Pikine. Toutefois, une étude de faisabilité technique de cette boucle de valorisation est réalisée. Puis, la robustesse des résultats est examinée à travers une série d'analyses de sensibilité, avant d'identifier les données manquantes, les conditions d'acceptabilité sociale et les pistes pour construire un système de gestion intégrée des MROs à vocation agricole.

#### **4.1 Opérationnalisation**

La mise en œuvre d'un dispositif de valorisation repose sur l'évaluation de sa faisabilité technique et agronomique à partir des résultats obtenus. L'objectif est, d'une part, de vérifier si les quantités de compost théoriquement mobilisables sont compatibles avec les exigences agronomiques identifiées, et d'autre part, d'analyser les marges de manœuvre ou les tensions potentielles que soulève leur mobilisation dans un cadre opérationnel.

##### **4.1.1 Validation de la faisabilité agronomique**

Les résultats obtenus dans les chapitres précédents suggèrent une convergence encourageante entre les flux de matières résiduelles organiques mobilisables et les besoins agronomiques des systèmes maraîchers de la Grande Niaye de Pikine. Cette section vise à approfondir cette

correspondance, en évaluant la mesure dans laquelle les volumes de compost issus des marchés urbains peuvent répondre de manière effective aux besoins des sols et des cultures.

Le croisement de ces deux ensembles de données montre que le volume total de compost mûr productible, après un an de fonctionnement, serait de 1 529 t/mois, soit plus de 18 000 t/an. Ce volume, bien que limité par des hypothèses comme la part en matière sèche ou la fraction biodégradable, reste significatif au regard des besoins des cultures. Les besoins en compost, calculés dans les scénarios de fertilisation s'élèvent à maximum 273 tonnes par mois, soit 3 276 t/an pour l'ensemble des surfaces cultivées. Cette différence traduit une situation de suroffre relative, qui semble être une condition favorable pour garantir la régularité des apports et amortir d'éventuelles pertes ou variations saisonnières. Bien que cette étude se soit principalement concentrée sur la valorisation des MROs urbaines, les résidus de cultures, estimés à environ 920 t brutes/an, représentent également un gisement mobilisable, mais marginal (environ 2 % de la masse brute totale). Leur valorisation nécessiterait la mise en place de dispositifs spécifiques de collecte, de stockage et de traitement, aujourd'hui absents du territoire. Au vu des faibles volumes concernés, ce flux pourrait être laissé aux abords de la parcelle ou dans la zone de production, pour restituer une part de matière organique au sol.

Ces résultats confirment la pertinence agronomique du principe de valorisation locale des MROs comme ressource pour le maraîchage urbain, mais supposent un compost stable et conforme aux références de la littérature (Dionne, 1995). La suite du chapitre revient sur les incertitudes liées à cette hypothèse. Sur le plan des éléments fertilisants, les apports issus du compost permettent une couverture satisfaisante en azote et phosphore, mais laissent apparaître un déficit récurrent en potassium, qui résulte notamment de la composition limitée du compost végétal utilisé dans les scénarios simulés. Ce déficit structurel justifie le recours complémentaire à des engrains minéraux spécifiques ou à des composts enrichis, dont la formulation et la disponibilité locale devront être examinées dans la suite du travail.

#### **4.1.2 Conditions techniques à saisir pour opérationnaliser**

Au-delà de la validation agronomique, la faisabilité du projet repose sur l'existence de conditions techniques permettant de garantir la qualité du compost produit et la continuité des flux. La mise en œuvre concrète d'une boucle de valorisation suppose de garantir à la fois la qualité des intrants, la régularité des flux et la maîtrise du processus de compostage. Actuellement, les MROs issues des marchés de Dakar sont collectées sans séparation préalable, dans les bennes installées par la SONAGED. Cette absence de tri limite fortement la qualité du gisement collecté et constitue un frein dans la production d'un compost valorisable. La mise en place d'un tri à la source avec la participation active des gestionnaires de marchés, apparaît donc comme un préalable indispensable.

Un autre paramètre critique à maîtriser pour l'opérationnalisation du compostage est la qualité du gisement, et en particulier sa teneur en matière organique (MO). Même si les volumes de déchets collectés sur les marchés sont relativement bien documentés, leur composition est variable, en partie à cause de la saisonnalité des productions agricoles qui influencent la proportion de matières réellement compostables. La MO des déchets bruts constitue un facteur déterminant dans la production finale de compost, car elle conditionne la part de la matière effectivement biodégradable. Le tableau 4.1 présente les résultats d'une analyse de sensibilité réalisée sur ce paramètre. À partir d'une valeur de référence de 45 % de MO, différentes hypothèses de variation ont été testées :  $\pm 10\%$  et  $\pm 20\%$ . Pour chaque cas, la masse mensuelle de compost mûr produite a été recalculée.

Tableau 4.1 Analyse de sensibilité du pourcentage de MO des déchets

Variation du pourcentage de MO des MRO (%)	% de MO des MRO (kg/t)	Masse de compost mûr humide produite (t/mois)	Variation relative de la masse de compost mûr humide (%)
-20	38	1293	-15
-10	43	1411	-8
<b>(Valeur de base)</b>	<b>48</b>	<b>1529</b>	—
+10	53	1647	+8
+20	58	1765	+15

L'analyse révèle que la production peut varier de -15 % à +15 % selon la qualité initiale des intrants, ce qui souligne la forte sensibilité du système à ce paramètre. Cette variabilité a des implications non négligeables en matière de planification. Elle démontre qu'une estimation fiable des tonnages ne peut reposer uniquement sur les volumes collectés, mais doit intégrer un suivi régulier de la composition des déchets, en particulier de leur teneur en MO.

Enfin, le compostage lui-même constitue une condition technique centrale. Dans cette étude, le processus de compostage a été considéré comme optimal dans sa conduite, conformément aux standards de la littérature scientifique (Dionne, 1995), supposant une gestion maîtrisée de l'aération, de l'humidité, du retournement et de la durée du processus. Ce choix méthodologique permettait d'isoler les effets des autres variables tout en garantissant une qualité finale du compost compatible avec les besoins agronomiques. La durée de compostage a été fixée à 12 mois dans le modèle. Cependant, cette hypothèse reste ambitieuse au regard des réalités opérationnelles, au regard des réalités opérationnelles du contexte dakarois, pour plusieurs raisons. D'une part, le compostage à ciel ouvert est soumis à de fortes contraintes climatiques : alternance saison sèche/saison des pluies, chaleur, manque d'eau pour le réajustement de l'humidité. D'autre part, le compost en cours de maturation occupe un large volume sur une longue durée ce qui peut entraîner des difficultés par manque d'espace et de rotation logistique. Ces incertitudes opérationnelles autour du processus de compostage justifient de simuler

différents scénarios de qualité de compost végétal (section 4.2.1). En faisant varier les teneurs en N, P et K du compost, les conséquences d'un compost de qualité inférieure ou déséquilibrée peuvent potentiellement être anticipées.

Un autre enjeu technique réside dans la présence excessive de sable dans les composts produits à partir de déchets urbains. Ce sable provient souvent du balayage des sols dans les marchés ou du mélange accidentel avec des résidus inertes lors du déversement dans les bennes. Plusieurs études menées au Sénégal ont mis en évidence ce phénomène, notamment dans les composts issus de décharges ou de plateformes de tri non surveillées (Pognani et al., 2010; Tambone et al., 2010). Ce sable, bien qu'inerte, pose plusieurs problèmes. D'abord, il altère l'activité microbienne essentielle à la dégradation de la matière organique (Kuo, Ortiz-Escobar, Hue, & Hummel, 2004). Sa présence excessive modifie la structure du mélange, perturbe la porosité et réduit la surface de contact entre les micro-organismes et les substrats fermentescibles. Cela peut ralentir le processus de compostage ou produire un compost biologiquement instable. Ensuite, le sable dilue la concentration en matière organique, ce qui diminue la qualité fertilisante du compost fini. Enfin, il alourdit inutilement le produit, rendant son transport plus coûteux et sa valorisation agricole moins pertinente, notamment dans des zones déjà caractérisées par des sols sableux, comme ceux des Niayes. Ce constat souligne la nécessité de maîtriser rigoureusement les pratiques de collecte et de pré-tri, afin d'éliminer les éléments sableux en amont du processus. Cela pourrait inclure l'installation de systèmes de tamisage à l'entrée des plateformes de compostage, l'organisation de circuits de collecte séparés pour les biodéchets, ou encore des actions de sensibilisation auprès des usagers et opérateurs du marché. Sans cette étape de tri à la source, les efforts de valorisation risquent d'être compromis par une qualité de compost insuffisante, tant sur le plan biologique que physique.

#### **4.1.3 Limites méthodologiques en contexte opérationnel**

L'approche adoptée dans cette étude s'appuie une série d'hypothèses méthodologiques, qui méritent d'être discutées au regard de leur influence potentielle sur les conditions réelles de

mise en œuvre. Ces hypothèses sont des points de vigilance à intégrer dans la phase de déploiement du système de valorisation organique.

Une première limite concerne la qualité du compost végétal, considérée comme constante et conforme aux références issues de la littérature. Cette hypothèse permet de raisonner en situation optimale, mais elle masque la variabilité réelle de la qualité des intrants et du processus de compostage. Les teneurs en matière organique, azote, phosphore et potassium peuvent fluctuer sensiblement selon les matières premières, les pratiques de collecte et la conduite technique des plateformes. Cette incertitude implique que tout passage à l'opérationnalisation nécessite un suivi régulier de la qualité des composts produits, avec des ajustements possibles des apports en fonction de leur composition réelle. En outre, le protocole de compostage retenu est basé sur le travail de Dionne (1995). Ce travail a été développé dans un contexte climatique et institutionnel différent, celui du Québec. Aussi, son application dans la zone de la Grande Niaye pourrait induire un biais méthodologique, en surestimant la qualité ou la stabilité du compost obtenu dans des conditions, marquées par des épisodes de fortes chaleurs, d'humidité excessive ou d'irrégularités dans les pratiques de suivi. De plus, la modélisation de la dégradation organique repose sur une fonction cinétique de premier ordre qui presuppose des conditions environnementales stables, notamment en température, humidité et aération. Or, ces conditions sont rarement réunies dans les systèmes de compostage ouverts tels qu'ils existent actuellement au Sénégal, particulièrement pendant la saison des pluies. Cette simplification a pour conséquence que les rendements théoriques de compost ne doivent pas être considérés comme des garanties opérationnelles. La recherche de données expérimentales locales pour affiner le modèle, constituerait un prolongement du travail engagé.

Une autre limite existe aussi dans la simplification du fonctionnement du système. Les calculs ont été réalisés en considérant que les flux de déchets étaient disponibles de manière stable, que la collecte était assurée de manière systématique, et que le compostage était conduit de façon optimale. Ces conditions idéales, nécessaires pour établir une base de comparaison, ne reflètent pas nécessairement les pratiques actuelles. Elles doivent donc être considérées comme des objectifs à atteindre plutôt que comme des points de départ garantis. De plus, les freins

sociaux à l'adoption du compost urbain et les contraintes logistiques sont difficiles à quantifier. Ces aspects sont abordés qualitativement (section 4.2.2) mais devront faire l'objet d'enquêtes de suivis complémentaires.

La forte variabilité temporelle des flux de résidus agricoles et de matières résiduelles organiques est également un point à souligner. Les données collectées montrent que ces volumes connaissent des fluctuations mensuelles, en lien avec les saisons. Ces extrema de production peuvent engendrer des problèmes logistiques, de traitement ou de stockage, d'où la nécessité de développer un système robuste capable de garantir la continuité opérationnelle sur l'année entière. De plus, les données de terrain ont été collectées au cours de la saison sèche, période au cours de laquelle les conditions de compostage sont plus favorables en raison de l'absence de pluies. Or, la saison des pluies, entre juin et septembre, influence la qualité des déchets, les conditions de collecte et les capacités de traitement. Cette variabilité saisonnière devra être prise en compte pour adapter les infrastructures et les calendriers de traitement. Ces incertitudes soulignent la nécessité d'affiner les paramètres à partir de données de terrain et justifient la mise en place d'analyses de sensibilité qui permettent d'anticiper les effets de variations des paramètres structurants du système.

## 4.2 Analyse des sensibilités critiques

Les résultats obtenus méritent d'être confrontés à la variabilité réelle des paramètres du terrain. L'analyse consiste à observer dans quelle mesure le système de valorisation envisagé reste fonctionnel lorsque certaines hypothèses sont modifiées, afin de mieux cerner ses points de fragilité.

### 4.2.1 Sensibilités techniques majeures

Afin d'évaluer la robustesse du modèle, des analyses de sensibilité ont été menées sur des variables jugées critiques en phase de modélisation, dont la teneur cible en matière organique, la teneur en matière organique du compost végétal et sa composition en éléments majeurs. Le

tableau 4.2 présente les besoins en compost estimés pour différents niveaux de teneur cible en matière organique (Tc), allant de -20 % à +20 % autour de la valeur de référence (2,8 %) dans la zone 1. Pour chaque scénario, la quantité de compost à appliquer est calculée en maintenant constants les autres paramètres du modèle.

Tableau 4.2 Analyse de sensibilité de la teneur cible en matière organique (Tc)

Variation de la teneur cible en MO (%)	Teneur cible MO (%)	Ientretien annuel en compost végétal pour la zone 1 (t/an)	Variation relative du Ientretien (%)
-20	2,24	553	-20
-10	2,52	622	-10
<b>(Valeur de base)</b>	<b>2,8</b>	<b>691</b>	—
+10	3,08	760	+10
+20	3,36	830	+20

Les besoins en compost varient de manière strictement proportionnelle. Ce comportement linéaire renforce l'idée que le niveau d'exigence agronomique fixé est l'un des déterminants majeurs de la pression exercée sur les flux de compost à mobiliser. Le tableau 4.3 présente une analyse de sensibilité à la teneur en matière organique (MO) du compost végétal, exprimée en kg de MO par tonne de compost. À partir d'une valeur initiale de 162 kg/t, des écarts de ±10 % et ±20 % ont été testés pour estimer l'impact sur les besoins annuels en compost pour la zone 1.

Tableau 4.3 Analyse de sensibilité à la teneur en MO du compost

Variation de la teneur en MO du compost (%)	Teneur en MO du compost (kg/t)	Ientretien annuel en compost végétal pour la zone 1 (t/an)	Variation relative du Ientretien (%)
-20	130	864	+25
-10	146	768	+11
(Valeur de base)	<b>162</b>	<b>691</b>	—
+10	178	628	-9
+20	194	567	-17

En revanche, la teneur en MO du compost a un effet inverse sur la quantité nécessaire à appliquer. Moins le compost est riche en MO, plus les volumes nécessaires augmentent pour maintenir la même fonction de restitution au sol. Les variations testées montrent une sensibilité modérée mais structurante, qui souligne l'importance de maintenir un processus de compostage optimisé.

La composition en éléments nutritifs (N, P, K) du compost végétal constitue une autre variable d'intérêt. Dans le modèle, cette composition a été considérée comme constante, mais des scénarios complémentaires ont été élaborés pour simuler différents états de compost végétal. Une analyse de sensibilité a été appliquée à la zone 1 pour tester la robustesse des combinaisons d'amendements face à des variations de qualité du compost végétal. Les cinq profils choisis sont un compost appauvri, enrichi, et déficitaire en azote (N), en phosphore (P) ou en potassium (K). Ces profils ont été appliqués aux quatre combinaisons, afin de mesurer l'effet de la variation qualitative du compost sur les écarts résiduels en N, P, K et la masse d'amendement mobilisée. Le tableau 4.4 présente la teneur en N, P et K (exprimée en kg/t de compost) pour chacun des scénarios simulés.

Tableau 4.4 Scénarios testés sur la composition N-P-K du compost végétal

Scénario	N (%)	P (%)	K (%)	Teneur N (kg/t)	Teneur P (kg/t)	Teneur K (kg/t)	Commentaire
<b>Compost de référence</b>	0	0	0	7,30	6,00	5,20	Teneurs de départ
<b>Tout -20 %</b>	-20	-20	-20	5,84	4,80	4,16	Compost appauvri
<b>Tout +10 %</b>	+10	+10	+10	8,03	6,60	5,72	Compost enrichi
<b>N -10 %, P, K inchangés</b>	-10	0	0	6,57	6,00	5,20	Déficit en azote
<b>P -10 %, N, K inchangés</b>	0	-10	0	7,30	5,40	5,20	Déficit en phosphore
<b>K -10 %, N, P inchangés</b>	0	0	-10	7,30	6,00	4,68	Déficit en potassium

Pour rappel, les scénarios testés dans la zone 1 avec le compost végétal de qualité « normale » (Tableau 3.15) ont obtenu des déficits en potassium, de l'ordre de -1160 kg/mois, ainsi que des écarts en azote (jusqu'à 22 kg) ou en phosphore (5 kg). À partir de cette base, le tableau 4.5 présente les résultats issus des cinq profils alternatifs. Les effets observés permettent d'apprécier la sensibilité du modèle à la qualité chimique du compost végétal.

Tableau 4.5 Effet des scénarios d'analyse de sensibilité sur la masse d'amendement mobilisée et les écarts de couverture en N, P et K pour la zone 1

Combinaison/ Scénario		Scénario de sensibilité de la composition du compost végétal				
		Appauvri	Enrichi	Déficit en azote	Déficit en phosphore	Déficit en potassium
<b>Compost végétal + Fumier de poule + 10-10-20</b>	Évolution de la masse totale (t/mois)	-6	-14		2	
	Évolution de la masse de compost végétal (t/mois)	-21	-14		0	
	Évolution de la masse de fumier (t/mois)	15				
	Écart (kg/mois)	N	123	-18	-1	-18
		P	-164	86	-14	
		K	-1216	1310	-1243	-1232
<b>Compost végétal + Fumier de vache + 10-10-20</b>	Évolution de la masse totale (t/mois)	15	-14	1		
	Évolution de la masse de compost végétal (t/mois)	-6	-14	1		
	Évolution de la masse de fumier (t/mois)	22				
	Écart (kg/mois)	N	-223	107	-5	-1
		P	92		-5	-5
		K	-1214	-1306	-1235	-1238
<b>Compost végétal + Compost de fumier de bovins + 10-10-20</b>	Évolution de la masse totale (t/mois)	1	-15		3	
	Évolution de la masse de compost végétal (t/mois)	-10	-15		3	
	Évolution de la masse de fumier (t/mois)	11				
	Écart (kg/mois)	N	127	-23	-1	-23
		P	-178	86	-18	
		K	-1239	-1314	-1247	-1233
<b>Compost végétal + Compost de fumier de volailles + 10-10-20</b>	Évolution de la masse totale (t/mois)	-6	-15		2	
	Évolution de la masse de compost végétal (t/mois)	-20	-15		2	
	Évolution de la masse de fumier (t/mois)	14				
	Écart (kg/mois)	N	123	-18	-1	-18
		P	-166	86	-14	
		K	-1236	-1311	-1244	-1233

Le tableau 4.5 montre que la variation de la composition du compost végétal influence les écarts en azote et phosphore, atteignant jusqu'à - 223 kg d'azote dans le cas du fumier de vache associé à un compost fortement appauvri, contre 0 kg dans la même combinaison en compost normal. De même, en cas de déficit en phosphore du compost, les écarts en P augmentent de façon significative (-14 à -18 kg). La qualité du compost semble donc jouer un rôle déterminant dans le respect des besoins en N et P, et que le modèle semble structurellement incapable de compenser par les autres amendements.

Par ailleurs, le déficit en potassium demeure élevé et stable, quelle que soit la composition du compost. Les écarts varient de -1232 à -1316 kg/mois. Ni l'ajustement du compost, ni le plafonnement du 10-10-20 ne permettent de compenser ces écarts. De plus, les écarts en K observés dans le tableau 3.15 sont parfois légèrement inférieurs, ce qui semble confirmer que la variation de qualité du compost a peu d'effet sur cet élément. Par ailleurs, la masse totale d'amendement varie peu, entre 150 et 167 t/mois, y compris lorsque le compost est fortement déséquilibré. Le système mobilise le compost en grande quantité, même lorsqu'il est appauvri ou déficitaire, probablement pour saisir les seuils minimaux. Cette réponse du modèle illustre son inertie face aux contraintes imposées et suggère qu'il compense la mauvaise qualité par un excès de quantité, dans les limites autorisées. De plus, la composition du 10-10-20, qui apporte une forte charge en K<sub>2</sub>O (200 kg/t), permettrait au modèle d'ajuster facilement un équilibre, mais celui-ci est plafonné. Pour faire face à ce problème, le recours à des engrains minéraux mono-nutritionnels (P ou K seuls), ou à des formulations alternatives (15 - 15 - 10) serait une solution intéressante pour compenser les déficits. Cette analyse justifie la nécessité d'un suivi régulier de la qualité agronomique des intrants organiques afin d'éviter des déséquilibres systématiques dans les apports, en particulier des teneurs en potassium des sols.

#### 4.2.2 Sensibilités sociales stratégiques

Outre les paramètres techniques, la réussite d'un dispositif de valorisation agricole repose largement sur la compatibilité du système proposé avec les pratiques, les représentations et les logiques d'acteurs locaux. Plusieurs facteurs sociaux, identifiés au cours des entretiens menés

sur le terrain, apparaissent comme structurants pour l'acceptabilité, l'adoption et la durabilité du projet. Du côté des producteurs maraîchers, l'utilisation d'un compost issu de déchets urbains suscite des réticences persistantes. Ce compost est souvent perçu comme moins efficace que les fumiers animaux, jugés plus riches, ce qui constitue un frein à son intégration dans les pratiques agricoles. L'acceptabilité sanitaire du compost constitue également un facteur clé. Dans un contexte comme celui de la Grande Niaye, caractérisé par la proximité des nappes phréatiques et la sensibilité environnementale des zones humides, la crainte d'une contamination peut fortement influencer les comportements d'usage. Cela renforce la nécessité de mettre en place un encadrement du tri et du processus de compostage, mais aussi d'une communication transparente sur la qualité du compost produit. La figure 4.1 présente les conditions actuelles de gestion des matières résiduelles organiques sur le marché Sandika. Elle



Figure 4.1 Benne de collecte débordante sur le marché Sandika (Dakar)

met en lumière les difficultés de tri à la source, l'hétérogénéité des gisements collectés, et les enjeux logistiques liés à la collecte. Cette réalité alimente en partie les représentations négatives associées au compost urbain, notamment lorsque le lien avec les déchets ménagers ou les ordures mal triées est visuellement manifeste.

Enfin, la réussite d'un tel dispositif dépend fortement de la mobilisation d'acteurs institutionnels et collectifs. Des institutions comme la SONAGED ou encore des associations telles que l'Association des unions maraîchères des Niayes, ont un rôle central à jouer dans l'organisation du tri, la gestion des flux, la traçabilité du compost et la structuration d'une filière fonctionnelle. Une coordination interacteurs renforcée serait envisageable pour porter des projets pilotes, planter des plateformes de compostage à proximité des zones de production, et assurer la distribution de compost de qualité à l'échelle territoriale. Cette dimension sociale constitue un élément structurant du système et renforce la pertinence d'une démarche territoriale.

### **4.3 Perspectives de mise en œuvre**

Ce travail ouvre sur plusieurs axes d'approfondissement, tant sur l'opérationnalisation des solutions proposées, l'enrichissement des données disponibles ou les conditions de structuration d'une filière de valorisation durable des MROs à Dakar.

#### **4.3.1 Actions prioritaires à court terme**

La faisabilité technique du système de valorisation proposé invite à envisager une première phase d'expérimentation à l'échelle locale. Plusieurs marchés étudiés présentent un potentiel de gisement organique et une proximité avec la zone maraîchère, ce qui en fait des points stratégiques pour initier un projet pilote. Les marchés de Castor et Thiaroye, notamment, pourraient constituer des sites pertinents pour initier une expérimentation. Cette phase pilote devrait poursuivre plusieurs objectifs concrets. Parmi ces objectifs concrets figure la mise à

l'essai de la collecte séparée des biodéchets, en partenariat avec la SONAGED et les gestionnaires de marché ; la formation des collecteurs à l'identification et à la gestion des matières organiques valorisables ; ainsi que la sensibilisation des commerçants à travers des outils pédagogiques, tels qu'un guide de bonnes pratiques.

En parallèle, la mise en place d'une unité expérimentale de compostage à proximité des sites maraîchers permettrait de suivre la transformation des déchets, d'évaluer la qualité réelle du compost produit dans des conditions locales, et de créer un premier point de jonction entre les producteurs de déchets et les usagers agricoles. Cette expérimentation jouerait un rôle clé pour valider plusieurs hypothèses structurantes du modèle, notamment celles liées à la qualité agronomique du compost produit, à la régularité des flux collectés, et à la capacité du système à couvrir les besoins en amendement des sols dans un contexte réel.

#### **4.3.2 Suivi technique et agronomique pour structurer une filière durable**

La structuration d'une filière de valorisation des matières résiduelles organiques durable repose sur la production de données fiables, un système de suivi agronomique localisé et un cadre de gouvernance territorialisé. Plusieurs paramètres techniques et sociaux identifiés dans cette étude nécessitent d'être documentés et suivis de manière continue, afin d'ajuster les pratiques, garantir la qualité des produits issus du compostage, et gagner la confiance des acteurs impliqués.

Un premier enjeu concerne la caractérisation approfondie des composts issus des MROs collectés sur les marchés. Bien que le modèle repose sur des valeurs de référence issues de la littérature, les caractéristiques réelles des composts produits localement peuvent varier selon la composition des flux, les conditions saisonnières ou les pratiques de tri. Des analyses régulières sont nécessaires sur la teneur en matière organique, le rapport C/N, les concentrations totales en azote, phosphore et potassium, ainsi que la présence de contaminants (métaux lourds, résidus plastiques). L'instauration d'un protocole analytique partagé permettrait de suivre l'évolution des lots produits et de définir des seuils de conformité pour

un usage agricole sécurisé. Une unité d'analyse de compost, en lien avec une structure de recherche locale comme l'ISRA, pourrait être mobilisée pour accompagner ces premières expérimentations. En plus de sa fonction de contrôle, elle jouerait un rôle pédagogique dans la formation des opérateurs de terrain à la lecture et à l'interprétation des résultats.

En parallèle, la mise en place d'un programme de suivi agronomique dans les zones maraîchères de la Grande Niaye serait déterminante. Ce programme pourrait s'appuyer sur un réseau de parcelles de référence, suivies dans le temps à l'aide d'indicateurs robustes, tels que la teneur en matière organique des sols, les rendements par culture ou l'évolution des propriétés physico-chimiques des sols (structure, salinité, rétention en eau). Ces données permettraient d'observer les effets concrets du compost sur la fertilité des sols dans les conditions pédo-climatiques spécifiques de la zone, et d'ajuster les doses d'apport en fonction des cultures et des contextes locaux. En particulier, des essais en plein champ contribueraient à documenter la cinétique de minéralisation de la matière organique, l'efficacité fertilisante réelle des composts locaux et leur interaction avec les pratiques existantes. Le suivi devrait également intégrer les variations saisonnières de qualité des flux. Les données mobilisées dans cette étude ont été collectées en saison sèche, période favorable au tri et au compostage. Or, la saison des pluies altère la qualité des déchets, complique leur manipulation, et perturbe les processus biologiques. Cette variabilité inter-saisonnière appelle un suivi sur l'ensemble du cycle annuel, incluant des mesures comparatives et des protocoles adaptés aux conditions humides.

Sur le plan organisationnel, ces dispositifs techniques devraient être inscrits dans une gouvernance locale structurée, sous forme de comités territoriaux de valorisation organique associant les collectivités territoriales, la SONAGED, les associations de producteurs, les chercheurs et les gestionnaires de marchés. Ces comités auraient pour mission de sélectionner les sites prioritaires, d'accompagner la mise en œuvre des plateformes de compostage, de garantir la transparence des processus, et de veiller à l'articulation entre production, transformation et valorisation. Enfin, la diffusion d'un document technique de référence, à destination des maraîchers, pourrait servir de socle commun. Il rassemblerait les résultats des

premières expérimentations, des recommandations d'épandage selon les cultures, des seuils de qualité du compost, et des consignes d'usage adaptées au contexte local.

Par ailleurs, le fait que seuls 18 % des flux de matières résiduelles organiques suffisent à satisfaire les besoins agronomiques ouvre la voie à une réflexion plus large sur la valorisation des volumes restants. Parmi les options complémentaires, la méthanisation apparaît comme une perspective stratégique, déjà soutenue par le Programme National de Biogaz du Sénégal, pour produire à la fois de l'énergie renouvelable et un digestat potentiellement utilisable en agriculture. Une suite logique à ce travail pourrait ainsi consister à explorer les conditions d'une modélisation multi-filière et multi-matière, combinant le compostage et la méthanisation, en fonction des caractéristiques physico-chimiques des flux, des usages locaux et des objectifs territoriaux en matière de durabilité. Une telle approche s'inscrirait dans une logique territorialisée, visant à optimiser l'usage des ressources tout en diversifiant les bénéfices agronomiques, énergétiques et sociaux.



## CONCLUSION

Ce mémoire s'est donné pour objectif d'évaluer dans quelle mesure les matières résiduelles organiques (MROs) produites par les marchés urbains de Dakar pouvaient être valorisées localement, par compostage, pour répondre aux besoins en fertilisation des sols maraîchers de la Grande Niaye. L'hypothèse centrale repose sur l'idée qu'un tel dispositif de valorisation circulaire permettrait à la fois de renforcer la durabilité des pratiques agricoles et de réduire la pression sur la filière de gestion des déchets. Pour y répondre, l'étude s'est structurée autour de trois axes : l'analyse des pratiques de fertilisation et des besoins agronomiques des maraîchers, l'estimation du gisement compostable à partir des flux de déchets organiques disponibles, et enfin la modélisation de différents scénarios d'amendement afin d'en évaluer les performances agronomiques.

Les résultats obtenus permettent de confirmer l'hypothèse de départ. Les pratiques de fertilisation observées reposent largement sur des fumiers, avec une utilisation généralisée d'engrais minéraux de type 10-10-20. La teneur en matière organique des sols est souvent inférieure aux seuils agronomiques recommandés, en particulier dans les sols sableux et halomorphes, suggérant un risque de dégradation progressive. Par ailleurs, l'étude des flux organiques révèle qu'environ 1249 t/mois de MROs sèches sont produites sur les sept marchés étudiés, ce qui représente une capacité annuelle théorique de plus de 18 000 t de compost stabilisé. À l'échelle de la Grande Niaye, les besoins en compost végétal sont estimés entre 262 et 273 t/mois. Ainsi, la valorisation locale de seulement 18 % de ces flux permettrait de couvrir entièrement les besoins en matière organique des cultures locales.

Les simulations agronomiques démontrent que ces apports permettent une couverture globalement satisfaisante des besoins en azote et phosphore, mais montrent un déficit persistant en potassium, qui résulte des restrictions d'usage sur le 10-10-20. Cela implique un ajustement à partir des apports minéraux complémentaires ou des composts enrichis. Par ailleurs, l'intégration des résidus de culture améliore marginalement les bilans, et demeure conditionnée

par les capacités logistiques de collecte et de traitement. L'analyse des sensibilités techniques et sociales a mis en lumière plusieurs conditions de faisabilité : variabilité saisonnière des flux, qualité du compost, acceptabilité par les producteurs et nécessité de coordination institutionnelle. L'adhésion des parties prenantes, notamment des maraîchers, et le soutien d'acteurs tels que la SONAGED apparaît comme indispensable pour structurer une filière fonctionnelle et durable.

Enfin, ce travail ouvre plusieurs pistes de recherche : l'évaluation environnementale des dispositifs expérimentaux, la caractérisation détaillée des composts produits, et l'étude des mécanismes de gouvernance multi-acteurs. La mise en place de projets pilotes, notamment sur les marchés de Castor et Thiaroye, est suggérée comme première étape vers une opérationnalisation concrète. En somme, cette étude confirme la faisabilité technique et agronomique de la valorisation des MROs en compost pour les systèmes maraîchers de la Grande Niaye, tout en soulignant les défis institutionnels et logistiques à relever pour en assurer la mise en œuvre effective et durable.

## ANNEXE I

### NORMES QUÉBECOISES ET FRANÇAISES ENCADRANT LA QUALITÉ DES AMENDEMENTS ORGANIQUES

Tableau I-1 Normes québécoises et françaises encadrant les paramètres agronomiques des amendements organiques

Paramètres agronomiques		Québec CAN/BNQ 0413-20 Amendements organiques : Composts <sup>1</sup>	France NF U44 051 Amendements organiques : Dénominations, spécifications et marquage <sup>2</sup>
Teneur en eau maximale		65 % b. h.	<b>Non définie</b>
Matière sèche (en % MB)		<b>Non définie</b>	≥ 30 %
Teneur en matières organiques (en % MB)		> 25%	≥ 25% <sup>2</sup>
Rapport Carbone/Azote (C/N) Avec N = NTK + N-NO <sub>3</sub>		<b>Non définie</b>	> 8
Teneur maximale en Azote (N), phosphore (P) et potassium (K) (en % MB)	N total	<b>Non définie</b>	< 3 %
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	<b>Non définie</b>	< 3 %
	K <sub>2</sub> O total	<b>Non définie</b>	< 3 %
	N <sub>t</sub> + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O	<b>Non définie</b>	< 7 %
Maturité <sup>3</sup> :	Méthode de respiration DBO modifiée	≤ 450 mg O <sub>2</sub> / kg SV / h	<b>Non définie</b>
	Taux d'évolution du CO <sub>2</sub>	4 mg CO <sub>2</sub> /g M.O.	<b>Non définie</b>
	Augmentation de température (Dewar)	< 8 °C	<b>Non définie</b>

<sup>1</sup> : Les données s'appliquent à des amendements organiques de type A, définis dans la norme CAN/BNQ 0413-20 comme des amendements de qualités supérieures, c'est à dire présentant un niveau de contamination très faible et aucune restriction concernant les doses d'épandage.

<sup>2</sup> : Ces valeurs concernent les amendements organiques, encadrés par la Norme française NF U44 051, sous la dénomination type 9 : « Mélange de matières végétales et animales (conformes à la réglementation en vigueur), brutes ou après pré-traitement anaérobie, ayant subi un procédé de compostage caractérisé ou de lombricompostage. »

<sup>3</sup> : Le compost est considéré mature si l'un des trois tests est réussi.

Tableau I-2 : Normes québécoises et françaises encadrant les matières inertes et impuretés dans les amendements organiques

<b>Valeurs limites en inertes et impuretés</b>		<b>Québec</b> CAN/BNQ 0413-20	<b>France</b> NF U44 051  Amendements organiques : Dénominations, spécifications et marquage <sup>2</sup>
Teneur maximale en corps étrangers	<b>Teneur en corps étrangers</b> (en % MS)	≤ 1,0	<b>Non définie</b>
	<b>Teneur en corps étrangers dont la plus grande dimension est &gt; 25 mm de long, et dont la largeur est &gt; à 3 mm</b> (en nombre par 500 mL)	≤ 3	<b>Non définie</b>
Teneur maximale en corps étrangers tranchants (CETr)	<b>Verres et métaux</b> (en % MS)	Pas de CETr Pas de CETr	< 2,0 %
Teneur maximale en plastiques	<b>Films et PSE</b> (en % MS)	<b>Non définie</b>	< 0,3 %
	<b>Autres</b> (en % MS)	<b>Non définie</b>	< 0,8 %

<sup>1</sup> : Les données s'appliquent à des amendements organiques de type A, définis dans la norme CAN/BNQ 0413-20 comme des amendements de qualités supérieures, c'est à dire présentant un niveau de contamination très faible et aucune restriction concernant les doses d'épandage.

<sup>2</sup> : Ces valeurs concernent les amendements organiques, encadrés par la Norme française NF U44 051, sous la dénomination type 9 : « Mélange de matières végétales et animales (conformes à la réglementation en vigueur), brutes ou après pré-traitement anaérobie, ayant subi un procédé de compostage caractérisé ou de lombricompostage. »

Tableau I-3 Normes québécoises et françaises encadrant les éléments organiques et inorganiques dans les amendements organiques

<b>Valeurs limites en éléments organiques et inorganiques</b>		<b>Québec</b> CAN/BNQ 0413-20	<b>France</b> NF U44 051  Amendements organiques : Dénominations, spécifications et marquage 2
<b>Teneur maximale en éléments inorganiques</b> (en mg/kg de MS)	<b>Arsenic (As)</b>	13	18
	<b>Cobalt (Co)</b>	34	<b>Non définie</b>
	<b>Chrome (Cr)</b>	210	120
	<b>Cuivre (Cu)</b>	400	300
	<b>Molybdène (Mo)</b>	10	<b>Non définie</b>
	<b>Nickel (Ni)</b>	62	60
	<b>Sélénium (Se)</b>	2,0	12
	<b>Zinc (Zn)</b>	700	800
	<b>Mercure (Hg)</b>	0,8	2
	<b>Plomb (Pb)</b>	120	180
<b>Teneur maximale en éléments organiques</b> (en mg/kg de MS)	<b>Cadmium (Cd)</b>	3,0	3
	<b>HAP : Fluoranthène</b>	<b>Non définie</b>	4
	<b>Benzo (b) fluoranthène</b>	<b>Non définie</b>	2,5
<b>Benzo (a) pyrène</b>		<b>Non définie</b>	1,5

<sup>1</sup> : Les données s'appliquent à des amendements organiques de type A, définis dans la norme CAN/BNQ 0413-20 comme des amendements de qualités supérieures, c'est à dire présentant un niveau de contamination très faible et aucune restriction concernant les doses d'épandage.

<sup>2</sup> : Ces valeurs concernent les amendements organiques, encadrés par la Norme française NF U44 051, sous la dénomination type 9 : « Mélange de matières végétales et animales (conformes à la réglementation en vigueur), brutes ou après pré-traitement anaérobiose, ayant subi un procédé de compostage caractérisé ou de lombricompostage. »

Tableau I-4 Normes québécoises et françaises encadrant les agents pathogènes dans les amendements organiques

<b>Valeurs limites en agents pathogènes</b>		<b>Québec</b> CAN/BNQ 0413-20	<b>France</b> NF U44 051 Amendements organiques : Dénominations, spécifications et marquage <sup>2</sup>
<b>Teneur en organismes pathogènes</b>	<b>Escherichia Coli</b>	< 1000 NPP /g ST	< 10 <sup>2</sup> /g de matière brute
	<b>Salmonelles</b>	Absence	Absence dans 25 g de matière brute
	<b>Entérocoques</b>	<b>Non définie</b>	<10 <sup>4</sup> /g de matière brute
	<b>Oeufs d'helminthes viables</b>	<b>Non définie</b>	Absence dans 1,5 g de matière brute

<sup>1</sup> : Les données s'appliquent pour les amendements organiques de type A, définis dans la norme CAN/BNQ 0413-20 comme des amendements de qualités supérieures, c'est à dire présentant un niveau de contamination très faible et aucune restriction concernant les doses d'épandage.

<sup>2</sup> : Ces valeurs concernent les amendements organiques dans le cas d'une culture maraîchère, encadrés par la Norme française NF U44 051, sous la dénomination type 9 : « Mélange de matières végétales et animales (conformes à la réglementation en vigueur), brutes ou après pré-traitement anaérobie, ayant subi un procédé de compostage caractérisé ou de lombricompostage. »

## ANNEXE II

# **GUIDES D'ENTREVUES SEMI-DIRIGÉES**

Figure II-1 Guide d'entrevues semi-dirigées concernant la production et la distribution maraîchère

3/ - Fertilisation :					
Type de fertilisant/amendement	Provenance	Si le fertilisant est acheté : Coût/unité	Quantité utilisée/ saison	Pour quels légumes (ou fruits)	Fréquence et quantité utilisée
<b>Composte</b>	<i>Ex : Vendeur X</i>	3000 XOF / sac de 30kg	10 sacs	<i>Fraises</i>	<i>Champs recouvert d'1cm 1x / 2mois</i>
				<i>Carottes</i>	
				<i>Chou</i>	
				<i>Courgettes</i>	
<b>Fumiers et/ ou purins</b>					
<b>Fertilisants organiques (NPK, urée,...)</b>					
<b>Autres</b>					

Figure II-2 Guide d'entrevues semi-dirigées concernant la fertilisation maraîchère

Figure II-3 Guide d'entrevues semi-dirigées à destination des vendeurs des marchés

- N° 3 : Unité de collecte (UCG)
  - Comment est composée l'équipe ?.....  
.....
  - Que collectez-vous ?.....  
.....
  - Dans quel(s) site(s) opèrent-ils ?.....  
.....
  - Quelle est la fréquence des ramassages ?.....
  - Quelle est la quantité moyenne par ramassage ?.....
  - Quelle(s) destination(s) pour les matières collectées ?  
.....
  - Comment-sont elles transportées ?  
.....

Figure II-4 Guide d'entrevues semi-dirigées à destination de l'UCG



### ANNEXE III

#### CARTE DES FLUX DE DISTRIBUTION MARAÎCHÈRE ENTRE ZONES DE PRODUCTION ET MARCHÉS URBAINS À DAKAR

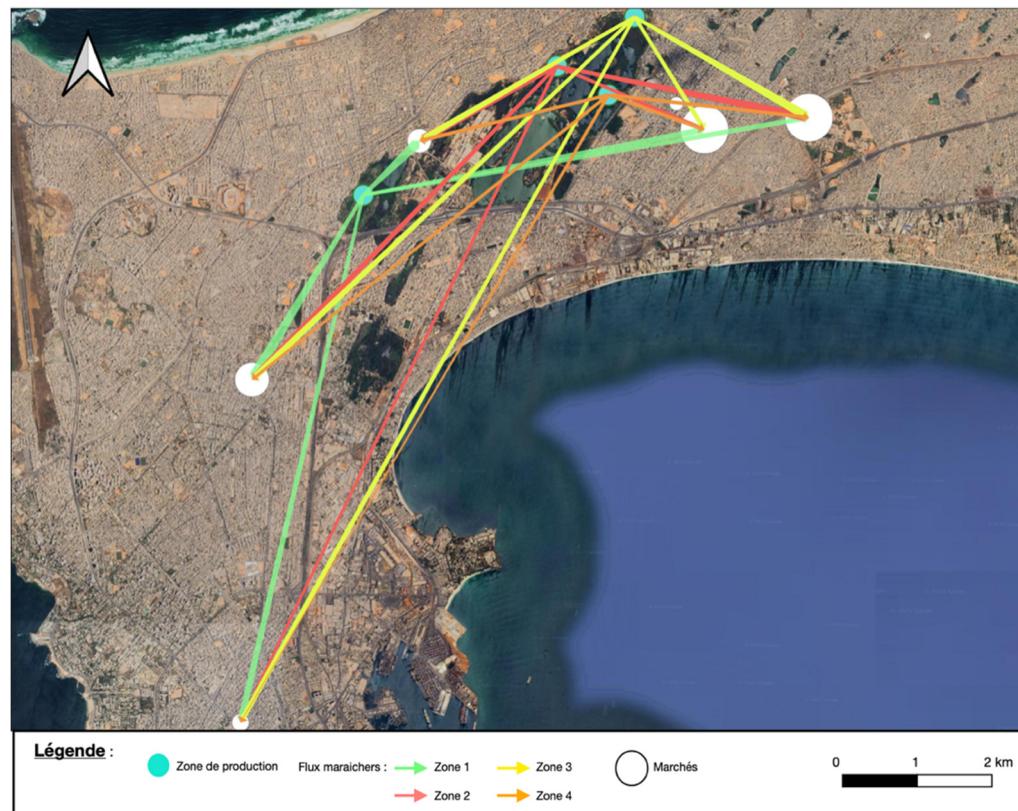


Figure III-1 Carte des flux de production maraîchère



## ANNEXE IV

### PARAMÈTRES AGRONOMIQUES UTILISÉS POUR L'ESTIMATION DES RÉSIDUS DE CULTURES

Tbaleau IV-1 Paramètres utilisés pour la quantification des résidus de culture et l'estimation de leur teneur en matière sèche

Cultures	Surface totale par culture (ha)	Indice de Récolte	Rendement moyen (t/ha/cycle <sup>1</sup> )	Durée pour 1 cycle de culture (mois)	Masse de résidus de culture (t/ha/cycle)	Masse de résidus de culture mensuelle (t/cycle)	Matière sèche dans le produit (%)	Rapport P/SP <sup>3</sup> (% MS)	Matière sèche dans les résidus (%)
Courgette	1,3			1,5 <sup>2</sup>	28 (Rosengarten & Bouviala, 2013)	36			0,8 <sup>4</sup>
Choux	0,4	0,38 (Smil, 1999)	32,5 (Beniest, 1987)	2,5 (Beniest, 1987)		23	8,2 (Anses, 2020)	1,3 (Fall, 2001)	3,8
Concombre	0,6	0,38 (Smil, 1999)	30 (Beniest, 1987)	2 <sup>2</sup>		28	4,0 (Anses, 2020)	2,9 (Fall, 2001)	0,8
Tomates	4,9	0,38 (Smil, 1999)	40 (Beniest, 1987)	3 <sup>2</sup>		317			12 (Kearl, 1982)
Piments	2,4		115 (Beniest, 1987)	3 <sup>2</sup>	35 (Rosengarten & Bouviala, 2013)	85	12,1 (Anses, 2020)	5,8 (Fall, 2001)	7
Bissap	5,0	0,38 (Smil, 1999)	3,5 (Beniest, 1987)	1 <sup>2</sup>		29	10 à 20 (M'Be, 2022)	2,5 (Fall, 2001)	3,6
Aubergines	3,1			2,5 <sup>2</sup>	48 (Rosengarten & Bouviala, 2013)	147			12,68 à 15,19 (Benhelal, N, 2012)
Patate Douce	8,1	0,4 (Smil, 1999)	22,5 (Beniest, 1987)	4,5 (Beniest, 1987)		272			14 à 15,8 (Rivière 1978; Kearl, 1982)
Manioc	0,1	0,8 (Fageria, Baligar, & Clark, 2006)	30 (Beniest, 1987)	10,5 (Beniest, 1987)		1			21 à 27,3 (Rivière 1978; Kearl, 1982)
Maïs	0,5	0,42 (Fageria, Baligar, & Clark, 2006)	35 (Beniest, 1987)	3,5 (Beniest, 1987)		24			22,6 (Kearl, 1982)

<sup>1</sup>: Un cycle de production représente la période qui s'étend de la plantation à la récolte.

<sup>2</sup>: Ces informations ont été obtenues lors des entrevues semi-dirigées avec les maraîchers de Dakar.

<sup>3</sup>: Le Rapport Produit / Sous-produit (P/SP) en % de matière sèche

<sup>4</sup>: L'hypothèse d'un pourcentage de matière sèche équivalent à celui du concombre a été posé, faute de donnée suffisante sur la courgette.



## ANNEXE V

### ALGORITHME MATLAB DE CALCUL DES RÉSIDUS AGRICOLES ET DE LA MATIÈRE SÈCHE À PARTIR DES PARAMÈTRES DE PRODUCTION

```
Y = [...]; % Rendement (t/ha)
IR = [...]; % Indice de récolte
D = [...]; % Durée du cycle (mois)
S = [...]; % Surface cultivée (ha)
MS_residus = [...]; % Fraction de MS des résidus
MS_produit = [...]; % Fraction de MS du produit
PSP = [...]; % rapport Produit/Sous-produit
R = zeros(size(Y)); % Résidus par ha et par cycle
Rm = zeros(size(Y)); % Résidus mensuels par ha
Rtot = zeros(size(Y)); % Résidus mensuels totaux
MS = zeros(size(Y)); % Fraction de MS des résidus

% Boucle de calcul
for i = 1:length(Y)

    % Calcul des résidus par hectare
    if ~isnan(IR(i))
        R(i) = Y(i) * ((1 - IR(i)) / IR(i)); % Équation (2.1)
    else
        R(i) = NaN;
    end

    % Calcul résidus mensuels et totaux
    Rm(i) = R(i) / D(i); % Équation (2.2)
    Rtot(i) = Rm(i) * S(i); % Équation n°(2.3)

    % Détermination de la matière sèche
    if ~isnan(MS_residus(i))
        MS(i) = MS_residus(i);
    elseif ~isnan(MS_produit(i)) && ~isnan(PSP(i))
        MS(i) = MS_produit(i) / PSP(i); % Équation (2.4)
    else
        MS(i) = NaN;
    end
end
% Calcul de la moyenne pondérée en matière sèche
```

```
MS_global = sum(Rtot .* MS, 'omitnan') / sum(Rtot, 'omitnan');% Équation(2.5)
```

Figure V-1 Algorithme de calcul de la masse de résidus de culture et de la teneur pondérée en matière sèche

## ANNEXE VI

### TAUX ET FLUX DE MROS DANS LES ZONES URBAINES DU SÉNÉGAL

Tableau VI-1 Taux moyen de matière organique des MROs et des papier-cartons

Type de Déchets	Localisation	Pourcentage (%)	Flux de MRO (m <sup>3</sup> /an)	Valeur moyenne
Matières organiques	Région de Dakar (IAGU & JICA, 2015) <sup>1</sup>	24		
	Dakar (IWWA, 2011), (MACOM, 2010), (EDE, 2003) <sup>2</sup>	45		
	Plateau	59		
	Sicap Liberté II	58		
	Sicap Dieupeul	55		
	Médina	44		
	Grand Dakar	48		
	Thiaroye	43		
	Parcelles Assainies	35		
	Marchés de Thiès (Madiaw Dieye, 2021)			
Matières organiques (données terrain)	Marché Central		117	
	Marché Moussanté		46,7	
	Marché Grand Thiès		20,3	
	Marché Gare Routière		58,7	
Papiers - Cartons	Moyenne des marchés (SONAGED, 2025)	48		
	Marché Castor (SONAGED, 2025)	78		
	Marché Grand Yoff (SONAGED, 2025)	35		
	Thiès (Diagne, 2016)		5,7	5,7 t/jour

<sup>1</sup> : D'après (IAGU & JICA, 2015), cité par Cissé (2019).

<sup>2</sup> : D'après IWWA (2011), MACOM (2010) et EDE (2003), cités par Müller et al. (2012).



## ANNEXE VII

### TENEURS MOYENNES EN MATIÈRE ORGANIQUE ET ÉLÉMENTS N-P-K DES AMENDEMENTS UTILISÉS

Tableau VII-1 Paramètres agronomiques des différents amendements organiques

Amendement	% Matière organique dans la matière sèche (MO/MS)	MS (%)	MO (kg/t)	N (kg/t)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/t)	K <sub>2</sub> O (kg/t)	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	Valeur Moyenne MO (kg/t)	Valeur Moyenne N-P-K (kg/t)	
Fumier de poule		53 (Teurki, 2013)	500 (Teurki, 2013)	9,2 ; 10,5 (Hery, 2022)	15,5 ; 27,3 (Hery, 2022)	3,9 ; 13,5 (Hery, 2022)	270 à 500 (Weill & Duval, 2010)	500	11,5 - 19,6 - 8,4	
		74,3 (Magnan, 2020)	500 (Decoopman, 2006)	12 (Chambre d'Agriculture Bas-Rhin, 2017)	10 (Chambre d'Agriculture Bas-Rhin, 2017)	9 (Chambre d'Agriculture Bas-Rhin, 2017)				
		74 ; 83 (Weill & Duval, 2010)		14,1 (Robitaille et al., 1996)	25,7 (Robitaille et al., 1996)	7,1 (Robitaille et al., 1996)				
Fumier de vache	80 (Peyrelasse et al., 2017)	25 (Teurki, 2013)	190 (Teurki, 2013)	3,1 (CRAAQ, 2003 et 2007, MAPAQ, 1997)	1,5 (CRAAQ, 2003 et 2007, MAPAQ, 1997)	3,4 (CRAAQ, 2003 et 2007, MAPAQ, 1997)	750 à 1000 (Weill & Duval, 2010)	185	12,5 - 2 - 2,5	
		26 (Teurki, 2013)	180 (Decoopman, 2006)	4,9 (AGRISEA, 2012)	3,2 (AGRISEA, 2012)	6,6 (AGRISEA, 2012)				
		21 (Weill & Duval, 2010)		16 (Hery, 2022)	12 (Hery, 2022)	26 (Hery, 2022)				
				12,5 (Fall, 2001)	2 (Fall, 2001)	2,5 (Fall, 2001)				
Fumier de cheval	85 (Peyrelasse et al., 2017)	47 (Peyrelasse et al., 2017)		5,57 (Chabalier et al., 2020)	3,4 (Chabalier et al., 2020)	5,7 (Chabalier et al., 2020)	700 (Magnan, 2020)		12 - 1,9 - 4,9	
		25 (Magnan, 2020)		8,2 (Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin, 2017)	3,2 (Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin, 2017)	9 (Chambre d'Agriculture du Bas-Rhin, 2017)				
				4 ; 13 (Hery, 2022)	4 ; 12 (Hery, 2022)	3 ; 7 (Hery, 2022)				
				8,7 ; 10 ; 11,9 ; 12,5 ; 14,6 ; 14,8 (Fall, 2001)	1,5 ; 1,7 ; 1,7 ; 1,9 ; 2,2 ; 2,2 (Fall, 2001)	3,6 ; 3,8 ; 5 ; 5 ; 5,7 ; 6 (Fall, 2001)				
Compost végétal	50 (Chabalier et al., 2020)	55 (Chabalier et al., 2020)	162 (Chambre d'Agriculture Nouvelle Calédonie, 2023)	7 (AGRISEA, 2012)	3 (AGRISEA, 2012)	5 (AGRISEA, 2012)	600 (Chambre d'Agriculture Nouvelle Calédonie, 2023)	162	7,3 - 6 - 5,2	
	35 (Joubert et al., 2022)	65 (Joubert et al., 2022)		7,6 (Robitaille et al., 1996)	9,1 (Robitaille et al., 1996)	5,4 (Robitaille et al., 1996)				
	46 (Leclerc & Nicolardot, 2007)	63,2 (Chambre d'Agriculture Nouvelle Calédonie, 2023)								
Mélange compost-fumier	60 (Sierra & Simphor, 2011)	50 (Sierra & Simphor, 2011)	Compost de fumier de bovins	153 (Chambre d'Agriculture Nouvelle Calédonie, 2023)	5,8 (Robitaille et al., 1996)	10,1 (Robitaille et al., 1996)	4,1 (Robitaille et al., 1996)	800 à 900 (Chambre d'Agriculture Nord-Pas de Calais, 2015)	177	8,3 - 21 - 4,8
				200 (Decoopman, 2006)	10,8 (Chambre d'Agriculture Nouvelle Calédonie, 2023)	31,8 (Chambre d'Agriculture Nouvelle Calédonie, 2023)	5,4 (Chambre d'Agriculture Nouvelle Calédonie, 2023)			
			Compost de fumier de volailles	260 (Teurki, 2013)	14,1 (Robitaille et al., 1996)	25,7 (Robitaille et al., 1996)	7,1 (Robitaille et al., 1996)	636 (Robitaille, 1999)	234	11,6 - 20,2 - 7,2
				234 (Ngom et al., 2017)	9,1 (Ngom et al., 2017)	14,8 (Ngom et al., 2017)	7,3 (Ngom et al., 2017)			



## ANNEXE VIII

### BESOINS EN ÉLÉMENTS MINÉRAUX (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) DES PRINCIPALES CULTURES MARAÎCHÈRES

Tableau VIII-1 Valeurs moyennes en N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O des différentes cultures maraîchères

Culture	N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O (kg/ha)		Source	N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O de fond (kg/ha)	N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O d'entretien (kg/ha)	N - P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - K <sub>2</sub> O total (kg/ha)
	Fumure de fond	Fumure d'entretien				
<b>Salade</b>	15-25 t/ha de MO + 250 kg/ha de 10-10-20	250 et 400 kg/ha de 10-10-20, 20 et 40 jours après plantation	(Beniest, 1987 ; Fall, 2001)	25 - 25 - 50	65 - 65 - 130	<b>90 - 90 - 180</b>
<b>Courgette</b>	15 à 25 t/ha de MO et 350 kg de 10-10-20	250 kg de 10-10-20 après 3, 5 et 8 semaines	(Beniest, 1987)	35 - 35 - 70	75 - 75 - 150	<b>110 - 110 - 220</b>
	140, 150 - 70, 30 - 70, 150		(Tandon, 2000 <sup>1</sup> ; Nimpagariste Dévote, 2019)			
<b>Menthe</b>	100, 250 - 60, 90 - 150, 200		(Bouabia, 2017)			<b>175 - 75 - 175</b>
<b>Chou</b>	20-30 t/ha de MO + 250 à 300 kg/ha de 10-10-20	200 kg/ha de 10-10-20 après 20 et 35 jours de plantation	(Beniest, 1987 ; Fall, 2001)	27,5 - 27,5 - 55	40 - 40 - 80	<b>172,5 - 89 - 178</b>
	200, 250 - 80, 120 - 180, 220		(ISRA, 2022)			
<b>Concombre</b>	30 à 40 t/ha de MO + 400 kg de 10-10-20	200 kg de 10-10-20 après 4, 6 et 8 semaines	(Beniest, 1987)	40 - 40 - 80	60 - 60 - 120	<b>100 - 100 - 200</b>
	140, 150 - 70, 50 - 70, 250		(Tandon, 2000 ; Nimpagariste Dévote, 2019)			
<b>Tomates</b>	20-30 t/ha de MO + 400 kg/ha de 10-10-20	200 kg/ha de 10-10-20 après 15, 30, 50 et 60 jours de plantation	(Beniest, 1987 ; Fall, 2001)	40 - 40 - 80	40 - 40 - 80	<b>143 - 110 - 237</b>
	150, 200 - 100, 150 - 250, 300		(ISRA, 2022)			
<b>Piments</b>	15-20 t/ha de MO + 300 kg/ha de 10-10-20	150 kg/ha de 10-10-20 deux à quatre semaines après repiquage	(Fall, 2001)	30 - 30 - 60	15 - 15 - 30	<b>45 - 45 - 90</b>
<b>Bissap</b>	10 à 20 t/ha de MO + 300 kg de 10-10-20	200 kg de 10-10-20 après 30, 50 et 90 jours	(Beniest, 1987)	30 - 30 - 60	60 - 60 - 120	<b>90 - 90 - 180</b>
	50 - 30 - 50		(Kiari et al., 2021)			
<b>Aubergines</b>	20-30 t/ha de MO + 500 kg/ha de 10-10-20	250 kg/ha de 10-10-20 à 40, 60 et 80 jours après repiquage	(Fall, 2001)	50 - 50 - 100	75 - 75 - 150	<b>125 - 125 - 250</b>
	120, 150, 190 - 60, 100, 50 - 60, 100, 200		(Tandon, 2000 ; Nimpagariste Dévote, 2019)			
<b>Patate douce</b>	5 à 15 t/ha de MO et 500 kg de 10-10-20	400 kg de 10-10-20	(Beniest, 1987)	50 - 50 - 100	40 - 40 - 80	<b>90 - 90 - 180</b>
	24, 75, 42, 60, 80 - 44, 75, 63, 60, 50 - 44, 75, 63, 60, 100		(Konan et al., 2015 ; Konan Dibi et al., 2019 ; Tandon, 2000)			
<b>Manioc</b>	5-10 t/ha de MO + 600 kg/ha de 10-10-20		(Beniest, 1987 ; Fall, 2001)	60 - 60 - 120		<b>60 - 60 - 120</b>
	30, 21, 30 - 30, 34, 5, 30 - 30, 21, 30		(IFDC, 2019 ; Hauser, Wairegi, Asadu, & Asawalam, 2014 ; IITA Youth Agripreneurs, 2022)			
<b>Maïs</b>	72, 97 - 8, 0 - 34, 58		(African Plant Nutrition Institute, 2022)			<b>85 - 4 - 46</b>
<b>Oignon</b>	10-20 t/ha de MO + 250 kg/ha de 10-10-20	-	(Beniest, 1987 ; Fall, 2001)	25 - 25 - 50		<b>83 - 77 - 158</b>
	100, 125 - 100, 105 - 200, 225		(ISRA, 2022 ; Mbengue, 2007)			

<sup>1</sup> : D'après (Tandon, 2000), cité par Mani, 2011.



## ANNEXE IX

### CONTRAINTES PARAMÉTRÉES DANS LE MODÈLE D'OPTIMISATION (SOLVEUR GRG NON-LINÉAIRE)

Tableau IX-1 Valeurs des contraintes du modèle d'optimisation par zone

Zone	1	2	3	4	5
<b>Surface de la zone (ha)</b>	25	4	9,4	13,8	8,5
<b>Culture prédominante</b>	Salade	Tomate	Salade	Patate douce	Bissap
<b>Durée du cycle de la culture prédominante (mois)</b>	1,5	3	1,5	4,5	1
<b>Contraintes paramétrées (t/mois)</b>	<b>Compost végétal</b> <b>Amendement 2</b>	$> 5$ $> 1$	$> 2$ $> 1$	$> 10$ $> 1$	$> 10$ $> 1$
$< 0,4 \text{ t/ha/cycle}^1$					
<i>(Association des unions maraîchères des Niayes, 2014)</i>					
$< 6$ $< 1,92$ $< 2,26$ $< 9,94$ $< 1,36$					

<sup>1</sup> : La recommandation s'appliquent pour le chou, pour un cycle de culture donnée. Les valeurs seuils de 10-10-20 ont été calculées proportionnellement à la durée du cycle de la culture prédominante, dans chaque zone, et multiplier à la surface de chaque zone.



## ANNEXE X

### SURFACE TOTALE CULTIVÉE PAR CULTURE ET PAR TYPE DE SOL PAR ZONE D'ÉTUDE

Tableau X-1 Surface de culture par zone et par type de sol

Culture	Zones												
	1		2		3			4			5		
	Surface totale (ha)	Surface hydromorphe (ha)	Surface totale (ha)	Surface hydromorphe (ha)	Surface totale (ha)	Surface hydromorphe (ha)	Surface ferugineuse (ha)	Surface totale (ha)	Surface hydromorphe (ha)	Surface ferugineuse (ha)	Surface totale (ha)	Surface hydromorphe (ha)	Surfaces halomorphe (ha)
Salade	22,95	22,95	0,56	0,56	5,57	0,663	4,90	2,94	0,235	2,70	0,65	0,48	0,17
Courgette	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74		0,74	0,34	0,195	0,15	0,17	0,17	
Menthe	1,02	1,02	0,00	0,00	0,00		0,00	0,26		0,26	0,08	0,08	
Choux	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43		0,43	0,00		0,00	0,00	0,00	
Concombre	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15		0,15	0,42	0,186	0,24	0,00	0,00	
Tomates	0,76	0,76	2,32	2,32	0,70	0,16	0,54	0,41		0,41	0,67	0,63	0,04
Piments	0,00	0,00	0,85	0,85	0,74	0,135	0,61	0,14		0,14	0,69	0,50	0,19
Bissap	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00		0,00	0,15	0,028	0,12	4,78	2,66	2,13
Aubergines	0,00	0,00	0,18	0,18	0,84	0,142	0,70	1,21	0,053	1,16	0,83	0,78	0,04
Patate Douce	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	7,83	1,487	6,34	0,22	0,22	
Manioc	0,03	0,03	0,04	0,04	0,00		0,00	0,04		0,04	0,04	0,04	
Maïs	0,08	0,08	0,00	0,00	0,23		0,23	0,00		0,00	0,19	0,19	
Oignon	0,08	0,08	0,01	0,01	0,04		0,04	0,08		0,08	0,20	0,20	
Total	25,0	25,0	4,0	4,0	9,4	1,1	8,3	13,8	2,2	11,6	8,5	5,9	2,6



## ANNEXE XI

### **RÉPARTITION DES MARAÎCHERS INTERROGÉS SELON LEUR ZONE DE PRODUCTION ET LES MARCHÉS DESSERVIS**

Tableau XI-1 Déclaration des principales destinations des produits maraîchers par zone

		Marché					
		Thiaroye	Gueule Tapée	Castor	Centre ville	Grand Dakar	Région
Effectif ( nombre de maraîchers interrogé)	Zone 1	4	14	15	6	5	1
	Zone 2	8	10	6	1	4	2
	Zone 3	10	6	6	4	4	5
	Zone 4	2	2	1	0	2	0
	Pourcentage de maraîchers	50	67	58	23	31	17



## ANNEXE XII

### ESTIMATION DES BESOINS MENSUELS EN N-P-K POUR LES ZONES 2 À 5

Tableau XII-1 Besoins totaux en N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O pour la zone 2

Zone 2				
Légumes	Surface (ha)	Besoins en N-P-K (kg/ha/ <sup>1</sup> cycle)	Durée de culture (mois) <sup>2</sup>	Besoins en N-P-K (kg/ha/mois)
Salade	0,56	90 - 90 - 180	1,5	60 - 60 - 120
Courgette				
Menthe				
Choux				
Concombre				
Tomates	2,32	143 - 110 - 237	3	48 - 37 - 79
Piments	0,85	45 - 45 - 90	3	15 - 15 - 30
Bissap				
Aubergines	0,18	125 - 125 - 250	2,5	50 - 50 - 100
Patate Douce				
Manioc	0,04	60 - 60 - 120	10,5	6 - 6 - 11
Maïs				
Oignon	0,01	83 - 77 - 158	3	28 - 26 - 53
<b>Surface totale (ha)</b>	<b>4,0</b>	<b>Besoins totaux en N-P-K pour la zone 2 (kg/mois)</b>		<b>167 - 142 - 295</b>

<sup>1</sup> : Cycle de production (du repiquage à la récolte)

<sup>2</sup> : Ces informations proviennent de Beniest (1987) et des entrevues semi-dirigées avec les maraîchers de Dakar.

Tableau XII-2 Besoins totaux en N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O pour la zone 3

Zone 3				
Légumes	Surface (ha)	Besoins en N-P-K (kg/ha/ <sup>1</sup> cycle)	Durée de culture (mois) <sup>2</sup>	Besoins en N-P-K (kg/ha/mois)
Salade	5,56	90 - 90 - 180	1,5	60 - 60 - 120
Courgette	0,74	110 - 110 - 220	1,5	73 - 73 - 147
Menthe				
Choux	0,43	172,5 - 89 - 178	2,5	69 - 36 - 71
Concombre	0,15	100 - 100 - 200	2	50 - 50 - 100
Tomates	0,7	143 - 110 - 237	3	48 - 37 - 79
Piments	0,75	45 - 45 - 90	3	15 - 15 - 30
Bissap				
Aubergines	0,84	125 - 125 - 250	2,5	50 - 50 - 100
Patate Douce				
Manioc				
Maïs	0,23	85 - 4 - 46	3,5	24 - 1 - 13
Oignon	0,04	83 - 77 - 158	3	28 - 26 - 53
<b>Surface totale (ha)</b>	<b>9,4</b>	<b>Besoins totaux en N-P-K pour la zone 3 (kg/mois)</b>		<b>517 - 490 - 988</b>

<sup>1</sup> : Cycle de production (du repiquage à la récolte)

<sup>2</sup> : Ces informations proviennent de Beniest (1987) et des entrevues semi-dirigées avec les maraîchers de Dakar.

Tableau XII-3 Besoins totaux en N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O pour la zone 4

Zone 4				
Légumes	Surface (ha)	Besoins en N-P-K (kg/ha/ <sup>1</sup> cycle)	Durée de culture (mois) <sup>2</sup>	Besoins en N-P-K (kg/ha/mois)
Salade	2,94	90 - 90 - 180	1,5	60 - 60 - 120
Courgette	0,34	110 - 110 - 220	1,5	73 - 73 - 147
Menthe	0,26	175 - 75 - 175	0,5	350 - 150 - 350
Choux				
Concombre	0,43	100 - 100 - 200	2	50 - 50 - 100
Tomates	0,41	143 - 110 - 237	3	48 - 37 - 79
Piments	0,14	45 - 45 - 90	3	15 - 15 - 30
Bissap	0,15	90 - 90 - 180	1	90 - 90 - 180
Aubergines	1,12	125 - 125 - 250	2,5	50 - 50 - 100
Patate Douce	7,83	90 - 90 - 180	4,5	20 - 20 - 40
Manioc	0,04	60 - 60 - 120	10,5	6 - 6 - 11
Maïs				
Oignon	0,08	83 - 77 - 158	3	28 - 26 - 53
Surface totale (ha)	13,8	Besoins totaux en N-P-K pour la zone 4 (kg/mois)	563 - 508 - 1030	

<sup>1</sup> : Cycle de production (du repiquage à la récolte)

<sup>2</sup> : Ces informations proviennent de Beniest (1987) et des entrevues semi-dirigées avec les maraîchers de Dakar.

Tableau XII-4 Besoins totaux en N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O pour la zone 5

Zone 5				
Légumes	Surface (ha)	Besoins en N-P-K (kg/ha/ <sup>1</sup> cycle)	Durée de culture (mois) <sup>2</sup>	Besoins en N-P-K (kg/ha/mois)
Salade	0,65	90 - 90 - 180	1,5	60 - 60 - 120
Courgette	0,17	110 - 110 - 220	1,5	73 - 73 - 147
Menthe	0,08	175 - 75 - 175	0,5	350 - 150 - 350
Choux				
Concombre				
Tomates	0,67	143 - 110 - 237	3	48 - 37 - 79
Piments	0,69	45 - 45 - 90	3	15 - 15 - 30
Bissap	4,79	90 - 90 - 180	1	90 - 90 - 180
Aubergines	0,82	125 - 125 - 250	2,5	50 - 50 - 100
Patate Douce	0,22	90 - 90 - 180	4,5	20 - 20 - 40
Manioc	0,04	60 - 60 - 120	10,5	6 - 6 - 11
Maïs	0,19	85 - 4 - 46	3,5	24 - 1 - 13
Oignon	0,20	83 - 77 - 158	3	28 - 26 - 53
Surface totale (ha)	8,5	Besoins totaux en N-P-K pour la zone 5 (kg/mois)	609 - 581 - 1171	

<sup>1</sup> : Cycle de production (du repiquage à la récolte)

<sup>2</sup> : Ces informations proviennent de Beniest (1987) et des entrevues semi-dirigées avec les maraîchers de Dakar.

## ANNEXE XIII

### SCÉNARIOS D'OPTIMISATION DES APPORTS EN N-P-K POUR LES ZONES 2 À 5

Tableau XIII-1 Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 2

<b>Zone 2 : Besoins totaux en N-P-K : 167 - 142 - 295 (kg/mois)</b>							
<b>Combinaison</b>	<b>Compost végétal (t/mois)</b>	<b>Amendement 2<sup>1</sup> (t/mois)</b>	<b>10-10-20 (t/mois)</b>	<b>Masse totale (t/mois)</b>	<b>Déficit N (kg)</b>	<b>Déficit P (kg)</b>	<b>Déficit K (kg)</b>
<b>Compost végétal + Fumier de poule + 10-10-20</b>	2	1	1	4	31	0	55
<b>Compost végétal + Fumier de vache + 10-10-20</b>	2	2	1	5	0	0	28
<b>Compost végétal + Compost de fumier de bovins + 10-10-20</b>	2	1	1	4	35	0	62
<b>Compost végétal + Compost de fumier de volailles + 10-10-20</b>	2	1	1	4	31	0	58

<sup>1</sup> : Fumier ou compost de fumier choisi dans la combinaison.

Tableau XIII-2 Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 3

<b>Zone 3 : Besoins totaux en N-P-K : 517 - 490 - 988 (kg/mois)</b>							
<b>Combinaison</b>	<b>Compost végétal (t/mois)</b>	<b>Amendement 2<sup>1</sup> (t/mois)</b>	<b>10-10-20 (t/mois)</b>	<b>Masse totale (t/mois)</b>	<b>Déficit N (kg)</b>	<b>Déficit P (kg)</b>	<b>Déficit K (kg)</b>
<b>Compost végétal + Fumier de poule + 10-10-20</b>	36	2	2	41	0	0	328
<b>Compost végétal + Fumier de vache + 10-10-20</b>	38	1	2	41	0	33	335
<b>Compost végétal + Compost de fumier de bovins + 10-10-20</b>	38	2	2	42	0	0	331
<b>Compost végétal + Compost de fumier de volailles + 10-10-20</b>	36	2	2	41	0	0	331

<sup>1</sup> : Fumier ou compost de fumier choisi dans la combinaison.

Tableau XIII-3 Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 4

<b>Zone 4</b> : Besoins totaux en N-P-K : 563 - 508 - 1030 (kg/mois)							
Combinaison	Compost végétal (t/mois)	Amendement 2 <sup>1</sup> (t/mois)	10-10-20 (t/mois)	Masse totale (t/mois)	Déficit N (kg)	Déficit P (kg)	Déficit K (kg)
Compost végétal + Fumier de poule + 10-10-20	10	1	4	15	50	0	120
Compost végétal + Fumier de vache + 10-10-20	10	4	4	18	0	0	88
Compost végétal + Compost de fumier de bovins + 10-10-20	10	1	4	15	55	0	119
Compost végétal + Compost de fumier de volailles + 10-10-20	10	1	4	15	51	0	115

<sup>1</sup> : Fumier ou compost de fumier choisi dans la combinaison.

Tableau XIII-4 Scénarios d'optimisation des apports en NPK pour la zone 5

<b>Zone 5</b> : Besoins totaux en N-P-K : 609 - 581 - 1171 (kg/mois)							
Combinaison	Compost végétal (t/mois)	Amendement 2 <sup>1</sup> (t/mois)	10-10-20 (t/mois)	Masse totale (t/mois)	Déficit N (kg)	Déficit P (kg)	Déficit K (kg)
Compost végétal + Fumier de poule + 10-10-20	56	6	1	63	0	0	561
Compost végétal + Fumier de vache + 10-10-20	63	1	1	65	0	65	568
Compost végétal + Compost de fumier de bovins + 10-10-20	60	4	1	66	0	0	566
Compost végétal + Compost de fumier de volailles + 10-10-20	56	5	1	63	0	0	568

<sup>1</sup> : Fumier ou compost de fumier choisi dans la combinaison.

## LISTE DE RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adhikari, B. K., Barrington, S., Martinez, J., & King, S. (2008). Characterization of food waste and bulking agents for composting. *Waste Management*, 28(5), 795-804. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.08.018>
- AFNOR. NF U44-051 Amendements organiques : Dénominations, spécifications et marquage.
- African Plant Nutrition Institute (Éd.). (2022). Proceedings of the 2nd African conference on precision agriculture. Communication présentée au 2nd African conference on precision agriculture, Benguerir, Morocco. Repéré à <https://www.apni.net/wp-content/uploads/2023/05/2nd-AfCPA-Proceedings-Final-240423.pdf>
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). (2020). Table de composition nutritionnelle des aliments. Repéré à [https://cional.anses.fr/cms/sites/default/files/inline-files/Table%20Cional%202020\\_doc\\_XML\\_FR\\_2020%2007%2007.pdf](https://cional.anses.fr/cms/sites/default/files/inline-files/Table%20Cional%202020_doc_XML_FR_2020%2007%2007.pdf)
- AGRIDEA. (2012). 3.4.71 : Compost de déchets verts. Dans L'agriculture biologique. Lausanne : AGRIDEA. Repéré à [https://www.bioactualites.ch/fileadmin/documents/bafr/production-vegetale/3.4.71-72\\_Compost\\_de\\_dechets\\_verts-2012.pdf](https://www.bioactualites.ch/fileadmin/documents/bafr/production-vegetale/3.4.71-72_Compost_de_dechets_verts-2012.pdf)
- Ahn, H. K., Richard, T.L., Glanville, T.D., Harmon, J.D., & Reynolds, D.L. (2005). Estimation of optimum moisture levels for biodegradation of compost bulking materials. Dans 2005 Tampa, FL July 17-20, 2005. American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://doi.org/10.13031/2013.19904>
- Aimée, D., Sambou, H., Diop, C., Ntiranyibagira, E., Dacosta, H., & Sambou, B. (2018). Dynamique d'occupation du sol des zones humides urbanisées de Dakar (Sénégal) de 1942 à 2014. VertigO, 18-1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.20120>
- Allard, S. Révision 2015 — CAN/BNQ 0413-200 Amendements organiques — Composts. Repéré à <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/presentation-bnq-revision-norme-CAN-BNQ-0413-200.pdf>
- Association des unions maraîchères des Niayes. (2014). Projet de production durable et compétitive du chou dans la zone des Niayes. Dakar. Repéré à [https://www.standardsfacility.org/sites/default/files/PG\\_302\\_ProjectActivities\\_Report.pdf](https://www.standardsfacility.org/sites/default/files/PG_302_ProjectActivities_Report.pdf)

Badiane, S. D. & Mbaye, E. (2018). Zones humides urbaines à double visage à Dakar : opportunité ou menace ?

Badiane, S., Tandjigora, A., Sy, T., Mamoudou, D., & Yessoufou, A. N.-D. (2023). Analyse de la distribution des produits maraîchers à Dakar (Sénégal) : logiques et fonctionnement à partir de trois marchés urbains, 6, 12-21.

Bambara, D., Thiombiano, A., & Hien, V. (2015). Composts de déchets urbains et dynamiques du carbone du sol à Donsin, Burkina Faso. Journal of Agriculture and Environment for International Development, 109(1). <https://doi.org/10.12895/jaeid.20151.269>

Benhelal, N. (2012). Essai de comportement de l'aubergine (*Solanum melongena*) variété blanche dans une eau non conventionnelle : Impact de la concentration et du potentiel hydrogène en hors sol. Université Saad Dahlab de Blida. Repéré à <http://di.univ-blida.dz:8080/jspui/handle/123456789/10291>

Beniest J. (1987). Guide pratique du maraîchage au Sénégal. Institut Sénégalaïs de Recherches Agricoles (ISRA). Repéré à [https://open-library.cirad.fr/files/4/751\\_Guide\\_pratique\\_du\\_maraichage\\_au\\_Senegal.pdf](https://open-library.cirad.fr/files/4/751_Guide_pratique_du_maraichage_au_Senegal.pdf)

Bernal, M. P., Alburquerque, J. A., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bioresource Technology, 100(22), 5444-5453. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>

Bockstaller, C & Girardin, P. (2008). Descriptif détaillé des indicateurs provenant de la méthode INDIGO. INRA Agronomie et Environnement Nancy-Colmar. Repéré à <https://means.inrae.fr/content/download/3628/35108?version=2>

Bouabia, F. (2017). Étude de l'influence des engrains sur le comportement et le rendement de la culture de la menthe. Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. Repéré à <http://e-biblio.univ-mosta.dz/bitstream/handle/123456789/2476/memoirefinal%202017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Chabalier, P.-F., Van de Kerchove, V., & Saint Macary, H. (2020). Chapitre 5 : Les matières organiques produites à la Réunion. Dans Guide de la fertilisation organique à la Réunion. [Saint-Denis] (Réunion) : CIRAD. Repéré à <https://www.mvad-reunion.org/wp-content/uploads/2020/09/Chapitre-5-du-guide-de-la-M.O.pdf>

Chambre d'agriculture d'Occitanie. (2012). La fertilisation en maraîchage biologique (Rapport No. 108). Repéré à [https://occitanie.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Occitanie/076\\_Inst-Occitanie/Documents/Productions\\_techniques/Agriculture\\_biologique/Espace\\_ressource\\_bio/Maraichage\\_bio/Pluri-espece/Fertilisation/FertiMaraichagBio-PyreneesOrientales-2012.pdf](https://occitanie.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Occitanie/076_Inst-Occitanie/Documents/Productions_techniques/Agriculture_biologique/Espace_ressource_bio/Maraichage_bio/Pluri-espece/Fertilisation/FertiMaraichagBio-PyreneesOrientales-2012.pdf)

Chambre d'agriculture d'Aquitaine. (2017). Références effluents d'élevages. Repéré à [https://landes.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Nouvelle-Aquitaine/101\\_Inst-Landes/Documents/environnement/elevage\\_environnement/effluents\\_valeursfertilisantes.pdf](https://landes.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Nouvelle-Aquitaine/101_Inst-Landes/Documents/environnement/elevage_environnement/effluents_valeursfertilisantes.pdf)

Chambre d'agriculture du Nord-Pas de Calais. (2015). Gestion du fumier de cheval : Valorisation de vos fumiers (Rapport No. 3).

Chambre d'Agriculture et de la pêche de Nouvelle Calédonie. (2023a). Compost de déchets verts.

Chambre d'Agriculture et de la pêche de Nouvelle Calédonie. (2023b). La Calédonie agricole (Rapport No. 190). Repéré à <https://www.cap-nc.nc/wp-content/uploads/LCA191-FT-Compost-de-dechets-verts-et-fientes-de-poules.pdf>

Chapitre 10, Les engrains de ferme et les matières résiduelles fertilisantes organiques. (2013). Dans Guide de référence en fertilisation (3e ed). Sainte-Foy, Qc : Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ).

Charreau, C., & Fauck, R. (1967). Les sols du Sénégal. Dans Études sénégalaïses (Vol. 9). Dakar : C.R.D.S. Repéré à [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_5/b\\_fdi\\_23-25/29248.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_23-25/29248.pdf)

Chaulet, G & Leung, J. (2016). La culture des légumes : chou, carotte, salade, tomate. Premiers résultats de l'enquête statistique réalisée en 2014 auprès de 500 producteurs maraîchers à La Réunion, (100). Repéré à [https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Culture\\_Legumes-1\\_cle0954f7.pdf](https://daaf.reunion.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Culture_Legumes-1_cle0954f7.pdf)

Chevallier, T., Razafimbelo, T. M., Chapuis-Lardy, L., & Brossard, M. (Éds). (2020). Carbone des sols en Afrique : Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. IRD Éditions, Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.34867>

- Cissé, O. & Institut africain de gestion urbaine (Éds). (2012). Les décharges d'ordures en Afrique: Mbeubeuss à Dakar au Sénégal. Paris : Dakar : Karthala ; Institut africain de gestion urbaine.
- Cissé, O. (2019). Le retour à la terre des déchets urbains. Institut Africain de Gestion Urbaine. Repéré à <https://resaud.net/wp-content/uploads/2024/11/Cisse-2019-Produire-des-matieres-pour-la-campagne-une-alter-2.pdf>
- Comité de Liaison Entrepreneurat-Agriculture-Développement (COLEACP) (Ed.). (2020). Manuel de formation : Gestion des sols. Paris : COLEACP. Repéré à [https://eservices.colead.link/fr/system/files/file\\_fields/2020/04/27/gestiondessols-environnement-fr-web.pdf](https://eservices.colead.link/fr/system/files/file_fields/2020/04/27/gestiondessols-environnement-fr-web.pdf)
- Dabin, B. (1980). Chapitre 9 : Les matières organiques dans les sols tropicaux normalement drainés. Dans Journée Georges Aubert (Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (O.R.S.T.O.M), Vol. 18). Bondy : Cahier O.R.S.T.O.M. Repéré à [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/cahiers/PTP/1419.PDF](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/1419.PDF)
- Dabin, B. (1967). La matière organique dans les sols ferrugineux tropicaux. Communication présentée au Réunion Annuelle des Pédologues ORSTOM, ORSTOM. Repéré à [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_5/b\\_fdi\\_10-11/12116.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_10-11/12116.pdf)
- Decoopman, B. (2006). Caractérisation de fertilisants organiques. Chambres d'agriculture de Bretagne. Repéré à [https://draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/dossier\\_caracterisation\\_fumier\\_volatile\\_cle884979.pdf](https://draaf.bretagne.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/dossier_caracterisation_fumier_volatile_cle884979.pdf)
- Diagne, I. (2016). Rapport de la campagne national de caractérisation des ordures ménagères et assimilées. Unité de coordination de la gestion des déchets solides (UCG). Repéré à [https://africacheck.org/sites/default/files/media/documents/2022-03/Rapport\\_national%20Caractérisation.pdf](https://africacheck.org/sites/default/files/media/documents/2022-03/Rapport_national%20Caractérisation.pdf)
- Diaouma, B. S., Diatou, T., Mamoudou, D., & Bachir, S. T. (2022). Territoires horticoles en période de confinement : les agriculteurs urbains (maraîchers) face à la crise sanitaire de la COVID-19 à Dakar (Sénégal).
- Diatta, I. (2008). Dynamiques des systèmes de productions horticoles et développement territorial dans les Niayes (littoral nord-ouest du Sénégal).
- Dionne, I. (1995). Le compostage des résidus verts en andains extérieurs retournés. Université de Sherbrooke. Repéré à <http://hdl.handle.net/11143/17400>

- Diop, K., Faye, C. A. T., & Sow, S. A. (2019). La Grande Niaye de Pikine, un espace humide à haute valeur agronomique au cœur de l'agglomération urbaine de Dakar : analyse des enjeux socioéconomiques. Belgeo, (1). <https://doi.org/10.4000/belgeo.31319>
- Dugué, P., Andrieu, N., & Bakker, T. (2024). Pour une gestion durable des sols en Afrique subsaharienne. Cahiers Agricultures, 33, 6. Repéré à <https://agritrop.cirad.fr/608285/1/608285.pdf>
- Duparque, A. (2015). Utilisation des produits résiduaires organiques en Agriculture.
- Duparque, A., Fleutry, L., Dersigny, C., Ancelin, O., & Duranel, J. (2008). Mémento sols et matières organiques. Agro-Transfert Ressources et Territoires & Chambre d'Agriculture de la Picardie. Repéré à <https://www.agro-transfert-rt.org/wp-content/uploads/2016/02/Valeur-Carbone-PRO-A.-Duparque.pdf>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. (2006). Physiology of crop production. New York: Food Products Press.
- Fairhurst, T (Éd.). (2015). Manuel de gestion intégrée de la fertilité des sols. Nairobi : Consortium Africain pour la Santé des Sols.
- Fall, S. T. (2001). Cités horticoles en sursis ? L'agriculture urbaine dans les grandes Niayes au Sénégal. Ottawa: International Development Research Centre. <https://doi.org/10.4000/apad.263>
- FAO-CRDI. (2006). Étude de cas sur les organisateurs à faible revenu Dakar. Repéré à <https://faoidrc.wordpress.com/wp-content/uploads/2007/08/dakar-case-study.pdf>
- Faye, E., Dieng, H., Dieng, H., Bogaert, J., Bogaert, J., Lejoly, J., & Lejoly, J. (2014). Dynamique de la flore et de la végétation des niayes et du bassin arachidier au Sénégal. Journal of Agriculture and Environment for International Development, 108(2). <https://doi.org/10.12895/jaeid.20142.240>
- Feuillade, G. (2021). Le compostage GEE4 [Cours GEE4].
- Ganry, F., & Feller, C. (1998). Sols tropicaux : quelques expériences de gestion de la matière organique. Repéré à [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers15-05/010015874.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-05/010015874.pdf)
- Gruhn P & Goletti F. (2000). Integrated nutrient management, soil fertility and sustainable agriculture: Current issues and future challenges. Washington: International Food Policy Research Institute. Repéré à <https://hdl.handle.net/10568/156076>

- Gueye, M. T., Bop, D., Sorlini, S., Ndoye, A., & Gueye, O. (2023). Impacts de la qualité des ressources en eau sur la biodiversité de l'écosystème aquatique du lac de Technopole et sur les produits agricoles dans cette zone humide de Pikine (Dakar, Sénégal). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 17(1), 173-191. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i1.13>
- Haug, R. T. (2004). The practical handbook of compost engineering (Nachdr.). Boca Raton, Fla. : Lewis. <https://doi.org/10.1201/9780203736234>
- Hauser, S., Wairegi, L., Asadu, C. L. A., & Asawalam, D. O. (2014). Guide de culture du manioc. Nairobi : (Consortium africain pour la santé des sols). Repéré à <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20203075609>
- Hery, M. (2022). Guide pratique de la matière organique : Piste pour une fertilisation organique raisonnée aux Antilles. Institut Technique Tropical. Repéré à [https://it2.fr/app/uploads/2023/09/ENR\\_CTCS\\_2022\\_SOLORGA\\_Guide\\_MO.pdf](https://it2.fr/app/uploads/2023/09/ENR_CTCS_2022_SOLORGA_Guide_MO.pdf)
- Huber, G., & Schaub, C., (2011). La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. Chambre d'agriculture du Bas-Rhin. Repéré à [https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/ca67-amendements\\_organiques.pdf](https://agriculture-de-conservation.com/sites/agriculture-de-conservation.com/IMG/pdf/ca67-amendements_organiques.pdf)
- Humbel F.X. (1970). Étude de la densité apparente mesurée in situ dans quelques sols du Cameroun. Repéré à [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers11-01/04886.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-01/04886.pdf)
- IITA Youth Agripreneurs. (2022). Manuel de formation sur la production et la transformation du manioc. Ibadan. Repéré à <https://hdl.handle.net/10568/118220>
- Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). (2022). Étude comparative de différents plans de fertilisation pour une adaptation aux conditions agropéoclimatiques des périmètres maraîchers du PAPSEN dans la zone centre du Sénégal. Dakar : ISRA. Repéré à <https://papsenpais.org/wp-content/uploads/2023/10/PPAT26RD20Rapport20FertiliteC3A920Sol20campagne202-Final-compresso.pdf>
- International Fertilizer Development Center (IFDC). (2019). Itinéraire technique du manioc. Repéré à <https://ifdc.org/wp-content/uploads/2019/07/FICHE-TECHNIQUE-4-ITINERAIRE-TECHNIQUE-DU-MANIOC-CASSAVA-TECHNICAL-ITINERARY.pdf>

Joubert, N., Marcadé, F., Nejda, F., Carlet, F., Mouton, R., & Sibé, V. (2022). Broyat et compost de déchets verts (Rapport No. 15). Chambre d'agriculture Provence-Alpes-Côte d'Azur. Repéré à [https://paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Provence-Alpes-Cote\\_d\\_Azur/020\\_Inst\\_Paca/CA83/Documents/0\\_Publications/Fiche\\_MOPACA\\_Dechets\\_Verts\\_2022.pdf](https://paca.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Provence-Alpes-Cote_d_Azur/020_Inst_Paca/CA83/Documents/0_Publications/Fiche_MOPACA_Dechets_Verts_2022.pdf)

Kearl, L. C. (1982). Nutrient requirements of ruminants in developing countries. Logan, Utah: Utah State University. <https://doi.org/10.26076/6328-a024>

Kiari, B. K. K., Daouda, A. K. T., Inoussa, M. M., Moussa, M., Atta, S., & Bakasso, Y. (2021). Effet de NPK (15-15-15) sur la production des écotypes d'oseille de Guinée (*Hibiscus sabdariffa* L.) au Niger.

Koanda, H. (2006). Vers un assainissement urbain durable en Afrique Sub-saharienne : Approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange. École Polytechnique Fédérale de Lausanne.

Konan, D., Emiss, B. S., & Nzue, B. (2015). Techniques culturales de la patate douce : Manuel de formation des agents de développement et des producteurs. Repéré à <http://www.sweetpotatknowledge.org/wp-content/uploads/2017/05/Manuel-de-formation-sur-la-patate-douce-1.pdf>

Konan Dibi, E. B., Martial Kouassi, J. H., Kouadio N'Goran, E., Emiss, B. S., Nzue, B., & Kouakou, M. A. (2019). Effet de différentes doses d'engrais minéraux sur le rendement de deux variétés de patate douce à Bouaké, Centre de la Côte d'Ivoire. European Scientific Journal ESJ, 15(33). <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n33p135>

Kple, M. (2015). Étude des voies de valorisation des déchets ménagers au Bénin : cas de la ville d'Abomey-Calavi. Repéré à <https://www.theses.fr/2015LORR0288>

Kuo, S., Ortiz-Escobar, M. E., Hue, N. V., & Hummel, R. L. (2004). Composting and compost utilization for agronomic and container crops. Repéré à [https://www.researchgate.net/publication/228992161\\_Composting\\_and\\_Compost\\_Utihzation\\_for\\_agronomic\\_and\\_container\\_crops](https://www.researchgate.net/publication/228992161_Composting_and_Compost_Utihzation_for_agronomic_and_container_crops)

Liniger, H., Mekdaschi Studer, R., Hauert, Christine, & Gurtner, Mats. (2011). La pratique de la gestion durable des terres : Directives et bonnes pratiques pour l'Afrique subsaharienne. FAO. Repéré à <https://www.fao.org/4/i1861f/i1861f.pdf>

Liwarska-Bizukojc, E., Bizukojc, M., & Ledakowicz, S. (2001). Kinetic model for the process of aerobic biodegradation of organic fraction of municipal solid waste. Bioprocess and Biosystems Engineering, 24(3), 195-202. <https://doi.org/10.1007/s004490100252>

- Lo, M., Sonko, E. H. M., Dieng, D., Ndiaye, S., Diop, C., Seck, A., & Gueye, A. (2020). Co-compostage de boues de vidange domestiques avec des déchets maraîchers et des déchets de poissons à Dakar (Sénégal). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 13(6), 2914. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i6.38>
- Madiaw Dieye, P. (2021). Étude de faisabilité pour la mise en place d'une unité de compostage à ENSA. Unité de Coordination de la Gestion des déchets solides (UCG). Repéré à <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2021/03/etude-de-faisabilite-pour-la-mise-en-place-dune-unite-de-compostage-a-ensa-1-compressed.pdf>
- Magnan, J. (2020). Valeurs références pour les volumes et les concentrations d'éléments fertilisants dans les effluents d'élevage. Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). Repéré à [https://www.craaq.qc.ca/documents/files/MDGAT024\\_MDDELCC\\_simpl/Doc\\_complet\\_Final\\_depot.pdf](https://www.craaq.qc.ca/documents/files/MDGAT024_MDDELCC_simpl/Doc_complet_Final_depot.pdf)
- Mani, P. K. (2011). Fertilizers in vegetable production. Dans Fundamentals of Vegetable Production. New Delhi: NIPA Publishers. Repéré à [https://www.researchgate.net/publication/313651871\\_Fertilizers\\_in\\_Vegetable\\_Production](https://www.researchgate.net/publication/313651871_Fertilizers_in_Vegetable_Production)
- Manlay, R. (2000). Organic matter dynamics in mixed-farming systems of the West African savanna: a village case study from South Senegal. École Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts de Montpellier. Repéré à [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/divers13-12/010059990.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers13-12/010059990.pdf)
- Mason, I. G. (2009). Predicting biodegradable volatile solids degradation profiles in the composting process. Waste Management, 29(2), 559-569. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.05.001>
- M'Be, C. (2022). Procédés de production et influence des propriétés fonctionnelles des poudres de calices d'Hibiscus Sabdariffa et de leurs fractions sur la formulation de boisson. Université de Lorraine. Repéré à <https://www.theses.fr/2022LORR0274>
- Mbengue, A. A. (2007). Analyse des stratégies de commercialisation de l'oignon local dans les Niayes. École Nationale Supérieure d'Agriculture du Sénégal.
- McGaughy, K., Morelli, B., Martell, A., Ana, J. S., & Ingwersen, W. W. (2024). Food waste end-of-life management for the United States: Parameterized life cycle inventory datasets. Data in Brief, 57. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.111174>
- Mendy, R. (2018). Capitalisation sur la filière compostage et lombricompostage des micro-jardins de la ville de Dakar. Université Cheikh Anta Diop, Dakar.

- Mougeot, L. J. A. (2006). Growing better cities: Urban agriculture for sustainable development. Ottawa: International Development Research Centre. Repéré à <http://hdl.handle.net/10625/30554>
- Müller, E., Wittmann, A., & Böni, H. (2012). Les déchets solides municipaux en Afrique de l'Ouest : entre pratiques informelles, privatisation et amélioration du service public.
- Mustapha, N., Lungu Obed, I., & Bationo, A. (2006). African soils: their productivity and profitability of fertilizer use: background paper for the African Fertilizer. Repéré à <https://edepot.wur.nl/26759>
- Ndiaye, O., Diallo, A., Matty, F., Thiaw, A., Fall, R., & Guisse, A. (2012). Caractérisation des sols de la zone des Niayes de Pikine et de Saint Louis (Sénégal). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 6(1), 519-528. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i1.46>
- Ngom, S., Dieye, I., Thiam, M. B., Sonko, A., Diarra, R., Diarra, K., & Diop, M. (2017). Efficacité agronomique du compost à base de la biomasse du « Neem » et de l'anacarde sur des cultures maraîchères dans la zone des Niayes au Sénégal. Agronomie Africaine.
- Niang, A. K. M. (2014). Dynamiques spatio-temporelles contraintes et stratégies d'adaptation dans la Grande Niaye de Pikine. Centre Régional Agrihmet.
- Nimpagaritse, D. (2019). Guide technique de production des cultures fruitières et maraîchères au Burundi. Bujumbura : World Vegetable Center. Repéré à <https://agritrop.cirad.fr/594496/1/Guide%20Technique%20Fruits%20et%20L%C3%A9gumes%20Burundi.pdf>
- Ochou Essé, F. (2021). Étude de faisabilité économique sur le compost et le biogaz en Côte d'Ivoire. Environnement Canada. Repéré à <https://www.sei.org/wp-content/uploads/2021/03/etude-de-faisabilite-economique-sur-le-compost-et-le-biogaz-en-cote-divoire-2-compressed.pdf>
- Oudart, D. (2013). Modélisation de la stabilisation de la matière organique et des émissions gazeuses au cours du compostage d'effluents d'élevage. INSA Toulouse. Repéré à <https://theses.fr/api/v1/document/2013ISAT0044>
- Ouedraogo, R.-B. (1994). Traitement des ordures ménagères au Sénégal. Cheick Anta Diop. Repéré à <https://beep.ird.fr/collect/eismv/index/assoc/TD94-27.dir/TD94-27.pdf>

Partenariat pour l’Action en faveur d’une l’économie verte (PAGE). (2021). Évaluation du marché des déchets en vue de l’utilisation de l’avantage coopératif dans le secteur. Dakar. Repéré à [https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed\\_emp/%40emp\\_ent/documents/publication/wcms\\_818842.pdf](https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed_emp/%40emp_ent/documents/publication/wcms_818842.pdf)

Peyrelasse, C., Lalanne, M., Buffiere, P., Monlau, F., & Bayard, R. (2017). Fiche technique fumier : bonnes pratiques de stockage. Dans SAM – Bonnes pratiques pour le stockage de matière. Angers : ADEME. Repéré à <https://aamf.fr/wp-content/uploads/2024/02/Fiche-Stockage-FUMIERS-2020-ADEME.pdf>

Pognani, M., Barrena, R., Font, X., Scaglia, B., Adani, F., & Sánchez, A. (2010). Monitoring the organic matter properties in a combined anaerobic/aerobic full-scale municipal source-separated waste treatment plant. Bioresource Technology, 101(17), 6873-6877. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.110>

Robitaille, R. (1999). Du fumier de poule pondeuse composté dans les patates ? Bio-Bulle, (19). Repéré à : <https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/ecolnature.pdf>

Rosengarten, P., & Bouviala, M. (2013). Teneurs en azote des organes végétaux récoltées : Méthode d’établissement et valeurs de référence. COMIFER. Repéré à : <https://comifer.asso.fr/wp-content/uploads/2015/03/Document-methodologique.pdf>

Saidou, A., Balogoun, I., Kone, B., Gnangle, C., & Aho, N. (2013). Effet d’un système agroforestier à karité sur le sol et le potentiel de production du maïs en zone Soudanienne du Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 6(5), 2066-2082. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i5.16>

Servant J. (1985). Les systèmes halomorphes. Communication présentée au Actes du Séminaire de la Havane, ORSTOM. Repéré à [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_4/colloques/24531.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/colloques/24531.pdf)

Smil, V. (1999). Crop Residues: Agriculture’s Largest Harvest. BioScience, 49(4), 299-308. <https://doi.org/10.2307/1313613>

Soltner, D. (2011). Les bases de la production végétale : le sol, le climat, la plante. Tome I, Le sol et son amélioration ou connaître le sol - le conserver - développer sa fertilité (25e édition, Vol. 1). Bressuire : Sciences et techniques agricoles.

- Tambone, F., Scaglia, B., D'Imporzano, G., Schievano, A., Orzi, V., Salati, S., & Adani, F. (2010). Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. *Chemosphere*, 81(5), 577-583. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.08.034>
- Teurki, R. (2013). Les effluents d'élevage : mieux les connaître pour bien les valoriser. Service Communication de la Chambre d'Agriculture de la Somme. Repéré à : [https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/Hauts-de-France/028\\_Inst-Nord-Pas-de-Calais/Telechargements/Recyclage/les-effluents-deleverage.pdf](https://nord-pas-de-calais.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Hauts-de-France/028_Inst-Nord-Pas-de-Calais/Telechargements/Recyclage/les-effluents-deleverage.pdf)
- Thomas, G. (2012). Growing greener cities in Africa: first status report on urban and peri-urban horticulture in Africa. Rome : FAO. Repéré à <https://www.fao.org/4/i3002e/i3002e.pdf>
- Tounkara, S. (2015). La valorisation des déchets organiques dans l'agriculture « "péri-urbaine" » à Dakar (Sénégal) : analyse d'une multifonctionnalité stratégique. Université de Toulouse-Jean Jaurès. Repéré à <https://theses.hal.science/tel-01257664v1>
- Tuomela, M., Hatakka, A., M. Vikman, & M. Itavaara. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*, 72(2), 169-183. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00104-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00104-2)
- Vizier J.F. (1985). L'hydromorphologie dans les sols : l'aspect pédogénétique en région tropicale. Communication présentée au Actes du Séminaire de la Havane, ORSTOM. Repéré à [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_4/colloques/24550.pdf](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/colloques/24550.pdf)
- Weill, A. & Duval, J. (2010). Chapitre 12 - Les amendements organiques : fumiers et composts. Dans Guide de gestion globale de la ferme maraîchère biologique et diversifiée. Montréal : Équiterre. Repéré à : [https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/MARAI\\_Chapitre\\_12A\\_mendements.pdf](https://www.agrireseau.net/agriculturebiologique/documents/MARAI_Chapitre_12A_mendements.pdf)
- Zelem, M.-C. (2011). La valorisation des matières organiques de la ville. Le cas des petits maraîchers de la zone périurbaine de Dakar. *Revue d'études en Agriculture et Environnement*, 92(3), 311-329. <https://doi.org/10.3406/reae.2011.1912>
- Zeng, R., Wei, Y., Huang, J., Chen, X., & Cai, C. (2021). Soil organic carbon stock and fractional distribution across central-south China. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(4), 620-630. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.04.004>

