

L'outil Cadre Harmonisé comme mesure de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle au Bénin : Application, limites actuelles et apports potentiels de l'imagerie satellitaire dans l'identification des zones vulnérables

Auteur : Kinet, Julie

Promoteur(s) : Tychon, Bernard

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée pays en développement

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/7482>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



CADRE HARMONISÉ

ULiège – Faculté des Sciences – Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

L'OUTIL « CADRE HARMONISÉ » COMME MESURE DE L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE AU BÉNIN

*APPLICATION, LIMITES ACTUELLES ET APPORTS POTENTIELS DE
L'IMAGERIE SATELLITE DANS L'IDENTIFICATION DES ZONES
VULNÉRABLES*

Julie KINET

**MEMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, A FINALITÉ PAYS EN
DEVELOPPEMENT**

ANNEE ACADEMIQUE 2018 - 2019

RÉDIGÉ SOUS LA DIRECTION DE Bernard TYCHON

COMITÉ DE LECTURE :

Bakary DJABY

Marie LANG

Copyright :

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de l'Université de Liège.*

** L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULiège .*

Le présent document n'engage que son auteur

KINET Julie

Julie.kinet@gmail.com

La réalisation de ce mémoire est largement tributaire du stage réalisé au sein du Programme européen d'Appui au Développement Durable du Secteur Agricole et de la Cellule Technique d'Appui à la Sécurité Alimentaire, au Bénin. Mes remerciements s'adressent donc tout particulièrement à Mr. Bakary Djaby pour son accueil chaleureux , de même qu'à Mr. Bernard Tychon pour leurs précieux conseils et leur confiance. Je remercie, ensuite, Mr. Dominique Dedegbe et Mr. Gildas Nangbé qui m'ont non seulement ouvert les portes des réunions Cadre Harmonisé mais également prodigué toutes les informations nécessaires à la présente recherche. Par ailleurs, le stage, tout comme la réalisation de ce mémoire, n'aurait probablement eu la même saveur sans l'accueil chaleureux et la sympathie d'Audrey, Guillaume, Olivier et Domitien. Enfin, le voyage réalisé dans le cadre de ce mémoire a été rendu possible grâce au soutien financier de l'Académie de Recherche et d'Enseignement Supérieur de la Fédération Wallonie-Bruxelles (ARES), dans le cadre de sa politique de Coopération au développement.

Résumé – Depuis 1990, le Cadre Harmonisé mesure, deux fois par an, la gravité de l’insécurité alimentaire en Afrique de l’Ouest. Basées sur la convergence des preuves, les analyses Cadre Harmonisé sont souvent marquées par l’absence d’indicateurs directs. Le Bénin ne faisant pas exception, les experts cherchent continuellement à augmenter la liste des données disponibles. La présente recherche évalue la pertinence de recourir aux indices issus de la télédétection au sein de ces analyses, en combinant une approche qualitative et une approche technique. La première partie consiste en une étude qualitative du Cadre Harmonisé, visant à mettre en évidence les grandes faiblesses de l’outil. La seconde recherche d’éventuelles corrélations entre les indices et les rendements du maïs et du manioc, de façon à identifier si ces indices sont susceptibles de trouver une place au sein des analyses Cadre Harmonisé. Enfin, ce détour par les indices de végétation et de pluviométrie est également l’occasion de revenir sur les limites du Cadre Harmonisé, afin d’en approfondir les réflexions. Il s’agit, notamment, de discuter de la prédominance du pilier de la disponibilité alimentaire, au sein des analyses, comparativement à d’autres aspects de la sécurité alimentaire actuellement délaissés, tels que la nutrition et l’accès social.

Abstract – Since 1990, the “Cadre Harmonisé” measures, biannually, the food insecurity’s severity, in West-Africa. Based on the convergence of evidence, the “Cadre Harmonisé” analysis are often characterized by the lack of direct indicators. Benin is no exception and its experts are continuously searching for new data to implement to their analysis. This research aims to evaluate the relevance of using indicators derived from remote sensing data in these analyzes, by combining a qualitative approach to a more technical one. The first part consists of a qualitative study of the Cadre Harmonisé to highlight this tool’s main weaknesses. The second part investigates to find potential correlations between the remote sensing indicators and the maize and manioc yields, to test if the indicators could play a role in the Cadre Harmonisé analysis. The considerations about remote sensing indicators are also considered as an opportunity to deepen our observations about the tool’s limits. We will especially discuss the predominance of the food availability aspect, within the analyzes, compared to others fundamental dimensions currently neglected, such as nutrition and social accessibility.

TABLE DES MATIERES

Introduction.....	1
Objectifs	3
Méthodologie générale.....	6
Première partie	9
I. Introduction.....	9
II. La sécurité alimentaire et nutritionnelle : une préoccupation mondiale.....	9
A. Un concept évolutif.....	11
B. Évaluer les risques d'insécurité alimentaire	14
C. L' «Integrated Food Security Phase Classification » (IPC)	16
III. La sécurité alimentaire et nutritionnelle au Bénin.....	17
D. Brève présentation du Bénin.....	17
E. Alimentation et nutrition au Bénin	18
Deuxième partie.....	23
I. Introduction.....	23
II. Le cadre Harmonisé pour l'analyse de la sécurité alimentaire et nutritionnelle dans le Sahel et en Afrique de l'Ouest.....	23
F. Des Groupes de Travail Pluridisciplinaires (GTP) aux analyses du Cadre Harmonisé : le suivi de l'insécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest (1980 – 2019)	24
G. L'analyse Cadre Harmonisé dans sa version 1.0.....	26
H. Perspectives futures pour le Cadre Harmonisé	31
III. Mise en œuvre de l'outil Cadre Harmonisé au Bénin.....	32
A. Le Cadre Harmonisé au Bénin (2015 – 2019)	32
B. Méthodologie détaillée	33
C. Matrice « SWOT ».....	36
D. Faiblesses	37
E. Les forces d'un outil dynamique.....	42
F. Opportunités et menaces dans un contexte changeant.....	43
G. Réflexions générales sur le Cadre Harmonisé.....	45
H. Conclusion intermédiaire.....	47
Troisième partie.....	51
I. introduction.....	51
II. méthodologie détaillée.....	54
A. Zone d'étude et cultures.....	54
B. Indicateurs et satellites.....	56
C. Autres données utiles.....	60
D. Logiciels utilisés	61
III. Traitement des images.....	61
A. Préparation du logiciel et des images	61
A. Calcul des indicateur VCI et ICN.....	62
B. Extraction des valeurs moyennes des indicateurs par communes et couverture du sol.....	63
C. Importation des indicateurs de végétation dans CGMS Statistical Tool	63
IV. Résultats.....	64
A. Corrélations avec le sNDVI (1998-2016)	64
B. Corrélations avec le VCI (2000-2016).....	72
C. Corrélations avec l'ICN (1999-2016).....	77
D. Corrélations avec le RFE (2001-2016).....	82
E. potentiel des modèles « mixtes »	88

V. Discussions des résultats	90
A. Limites de l'analyse.....	90
B. Les indices de végétation peuvent-ils être utiles à l'analyse Cadre Harmonisé, au Bénin ?	91
VI. Approche qualitative des défis socio-institutionnels posés par le recours aux images satellites pour l'analyse Cadre Harmonisé	92
A. Contexte institutionnel.....	92
B. Nutrition et santé : ce qui échappe encore au Cadre Harmonisé	93
VII. Recommandations : le Cadre Harmonisé et l'outil européen ASAP	95
Conclusion générale	99
Bibliographie	101
Annexes	i
I. Rendements agricoles : maïs et manioc (1998 – 2016)	i
II. Résultats détaillés de l'identification de corrélations entre les variables dérivées du SNDVI et les rendements du maïs et du manioc	i
A. Augmentation la plus importante entre deux périodes subséquentes (ADN)	i
B. Diminution la plus importante entre deux périodes subséquentes (AUP).....	iii
C. Valeurs moyennes (vav)	iv
D. Valeur minimale (vmn)	vi
E. Valeur maximale (vmx)	vii
F. Déviation standard (RSD)	ix
G. Étendue relative (RRG).....	xi
H. Date relative du premier VMN (DMN)	xii
I. Date relative du dernier VMX (DMX).....	xiv
J. Date relative du premier AUP (DUP)	xv
K. Date relative du dernier ADN (DDN).....	xvii
III. Résultats détaillés de l'identification de corrélations entre les variables dérivées du VCI et les rendements du maïs et du manioc	xix
A. Augmentation la plus importante entre deux périodes subséquentes (ADN)	xix
B. Diminution la plus importante entre deux périodes subséquentes (AUP).....	xx
C. Valeurs moyennes (vav)	xxii
D. Valeur maximale (vmx) : Nord-Bénin	xxiii
E. Déviation standard (RSD)	xxv
F. Étendue relative (RRG).....	xxvi
G. Date relative du premier VMN (DMN)	xxviii
H. Date relative du dernier VMX (DMX).....	xxx
I. Date relative du premier AUP (DUP)	xxxii
J. Date relative du dernier ADN (DDN).....	xxxiii
IV. Résultats détaillés de l'identification de corrélations entre les variables dérivées de l'ICN et les rendements du maïs et du manioc	xxxv
A. Augmentation la plus importante entre deux périodes subséquentes (ADN)	xxxv
B. Diminution la plus importante entre deux périodes subséquentes (AUP).....	xxxvi
C. Valeurs moyennes (vav)	xxxviii
D. Valeurs maximales (VMX).....	xxxix
E. Déviation standard (RSD)	xli
F. Étendue relative (RRG).....	xlii
G. Date relative du premier VMN (DMN)	xliv
H. Date relative du dernier VMX (DMX).....	xlvi
I. Date relative du premier AUP (DUP)	xlvii
J. Date relative du dernier ADN (DDN).....	xlix
V. Résultats détaillés de l'identification de corrélations entre les variables dérivées du RFE et les rendements du maïs et du manioc	li
A. Augmentation la plus importante entre deux périodes subséquentes (ADN)	li
B. Diminution la plus importante entre deux périodes subséquentes (AUP).....	lii

C.	Valeurs moyennes (vav)	liv
D.	Valeurs minimales (VMN)	lv
E.	Valeurs maximales (VMX).....	lvi
F.	Déviation standard (RSD)	lviii
G.	Étendue relative (RRG).....	lix
H.	Date relative du premier VMN (DMN)	lxi
I.	Date relative du dernier VMX (DMX).....	lxii
J.	Date relative du premier AUP (DUP)	lxiii
K.	Date relative du dernier ADN (DDN)	lxv

TABLE DES FIGURES

Figure 1 - Objectifs général et secondaires	3
Figure 2 - Zones agroclimatiques du Bénin (MAEP, CENATEL, 2001)	18
Figure 3 - Cadre analytique commun à l'IPC et au CH (CILSS, 2014).....	27
Figure 4 - Classification de l'insécurité alimentaire (IPC ; CH) (CILSS, 2014).....	28
Figure 5 - Étapes de l'analyse Cadre Harmonisé (CILSS, 2014).....	29
Figure 6 - Récurrence (%) de l'utilisation des indicateurs de résultats (2014 – 2019)	37
Figure 7 - Communes béninoises choisies pour la réalisation de la recherche.....	54
Figure 8 - Bandes spectrales des senseurs VGT-1 et VGT-2 (WOLTERS et al., 2016).....	57
Figure 9 - Calendrier climatique, agricole et périodes de soudure au Bénin (AGVSA, 2013).....	60
Figure 10 - Identification des corrélations linéaires entre le sNDVI et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Sud et Centre-Bénin (1998-2016).....	65
Figure 11 - Identification des corrélations linéaires entre le sNDVI et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (1998-2016)	66
Figure 12 - Évolution du sNDVI des zones de cultures au cours de l'année (Tanguiéta, 2010-2018).....	67
Figure 13 - Variables secondaires générées par SPIRITS	67
Figure 14 - Exemples d'améliorations de la prévision des rendements permises par les variables secondaires du sNDVI	68
Figure 15 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues du sNDVI (Nord-Bénin)	69
Figure 16 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues du sNDVI (Centre et Sud-Bénin).....	70
Figure 17 - Identification des corrélations linéaires entre le VCI et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Centre et Sud-Bénin (2000-2016)	72
Figure 18 - Identification des corrélations linéaires entre le VCI et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (2000-2016).....	73
Figure 19 - Évolution annuelle du VCI à Abomey-Calavi (2010-2017)	74
Figure 20 - Évolution annuelle du VCI à Malanville (2010-2017).....	74
Figure 21 - Exemples d'améliorations de la prévision des rendements permises par les variables secondaires du VCI.....	75
Figure 22 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues du sNDVI (Nord-Bénin)	75
Figure 23 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues du sNDVI (Nord-Bénin)	76
Figure 24 - Identification des corrélations linéaires entre l'ICN et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (1999-2016).....	77
Figure 25 - Identification des corrélations linéaires entre l'ICN et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Centre et Sud-Bénin (1999-2016)	78
Figure 26 - Évolution annuelle de l'ICN des cultures de Glazoué (2010 – 2017)	79
Figure 27 - Exemples d'améliorations de la prévision des rendements permises par les variables secondaires de l'ICN.....	80
Figure 28 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues de l'ICN (Nord-Bénin)	80
Figure 29 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues de l'ICN (Centre et Sud-Bénin)	81
Figure 30 - Identification des corrélations linéaires entre le RFE et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (2001-2016).....	82
Figure 31 - Identification des corrélations linéaires entre le RFE et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Centre et Sud-Bénin (2001-2016)	83

Figure 32 - Identification des corrélations linéaires entre le RFE cumulé et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (2001-2016)	84
Figure 33 - Identification des corrélations linéaires entre le RFE cumulé et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Centre et Sud-Bénin (2001-2016)	85
Figure 34 - Évolution annuelle du RFE des cultures de Cobli (2010 – 2017).....	86
Figure 35 - Évolution annuelle du RFE des cultures de Savè (2010 – 2017)	86
Figure 36 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues de du RFE (Nord-Bénin)	87
Figure 37 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues de du RFE (Centre et Sud-Bénin).....	87
Figure 38 - Exemples de modèles de prévision des rendements basés sur une régression linéaire incluant différents indicateurs de végétation et de pluviométrie.....	88
Figure 39 - Valeurs prédites et observées des rendements du manioc à Sô-Ava (gauche) et du maïs à Boukombé (droite).....	89
Figure 40 - Capture d'écran du Warning Explorer d'ASAP (septembre 2015)	96
Figure 41 - Rendements des cultures de maïs par départements et par communes (1998 - 2016) (INSAE, 2018).....	i
Figure 42 - Rendements des cultures de manioc par département et par commune (1998 - 2016) (INSAE, 2018).....	ii

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACV	Analyse et Cartographie de la Vulnérabilité
AGVSA	Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire
AMSANA	Programme d'Appui Multisectoriel à la Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle dans l'Atacora
ASAP	Anomaly hot Spots of Agricultural Production
CEDEAO	Programme d'Appui Multisectoriel à la Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle dans l'Atacora
CILSS	Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CNA	Cellule Nationale d'Analyse
CENATEL	Centre National de Télédétection
CT-SAGSA	Cellule Technique d'Appui à la Sécurité Alimentaire
DANA	Direction de la Nutrition et de l'Alimentation Appliquée
DSA	Direction de la Statistique Agricole
DPH	Direction de la Production Halieutique
ENABEL	Agence Belge de Développement
ESA	European Space Agency
FAO	Food and Agriculture Organization of the United States
FAOIU	Indicator of Undernourishment
FEWSNET	Famine Early Warning System Network
GTP	Groupe de Travail Pluridisciplinaire
HDDS	Score de Diversité Alimentaire des Ménages
HEA	Analyse de l'Économie des Ménages
ICN	Indice de Croissance Normalisé
INSAE	Institution Nationale de la Statistique et de l'Analyse Économique
IPC	Integrated Food Security Phase Classification
JRC	Joint Research Center
MAEP	Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche
MARS	Monitoring Agricultural Resources Unit
MESA	Monitoring for Environment and Security in Africa
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
ONASA	Office National d'Appui à la Sécurité Alimentaire

ONG	Organisation Non Gouvernementale
ONU	Organisation des Nations-Unies
PAG	Programme d'Action du Gouvernement
PAM	Programme Alimentaire Mondial
PDSA	Plan Stratégique du Secteur Agricole
PIB	Produit Intérieur Brut
PMASN	Projet Multisectoriel de l'Alimentation, de la Santé et de la Nutrition
PNIASAN	Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle
PRIASAN	Programme Régional d'Investissement Agricole et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle
PNUD	Programme des Nations-Unies pour le Développement
PREGEC	Prévention et Gestion des Risques Alimentaires
RFE	Rainfall Estimates
RMSE	Root Mean Square Error
RPCA	Réseau de Prévention des Crises Alimentaires
SAP	Système d'Alerte Précoce
SC	Save the Children
SCA	Score de Consommation Alimentaire
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
UEMOA	Union Économique et Monétaire Ouest Africaine
UNICEF	United Nations International Children's Fund
USAID	United States Agency for International Development
VCI	Vegetation Condition Index

INTRODUCTION

Concept multidimensionnel et à l'acceptation évolutive, la sécurité alimentaire est au centre des préoccupations mondiales présentes et futures. Les Objectifs de Développement Durable, adoptés par l'Organisation des Nations Unies, font d'ailleurs de la « faim zéro » l'un des principaux objectifs à atteindre, à l'horizon 2030. Cependant, en 2018, près de 113 millions de personnes subissaient encore une situation d'insécurité alimentaire aigüe. Quant aux décennies à venir, elles charrient une inquiétude liée non seulement aux perturbations climatiques, qui sont d'ores et déjà reconnues comme l'une des causes principales des crises alimentaires, mais également à la récurrence des conflits armés et de l'instabilité politique (FAO, 2018).

Face à ces crises répétées, de nombreuses institutions internationales ont développé leurs propres cadres d'analyse, permettant de mesurer l'insécurité alimentaire, d'en déceler les causes et de lui affecter les plans de réponse adéquats. Les initiatives se sont, en effet, multipliées depuis les années 1990, avec une visée tantôt universelle, tel que le cadre IPC de la FAO, tantôt avec une portée régionale, comme le Cadre Harmonisé pour l'identification des zones vulnérables en Afrique de l'Ouest et au Sahel. Reposant sur les principes de la convergence des preuves et du consensus technique entre experts, le Cadre Harmonisé est actuellement mis en œuvre dans dix-sept pays d'Afrique de l'Ouest et permet une classification, deux fois par an, de la gravité de l'insécurité alimentaire dans les différents pays participants.

S'il repose sur la convergence des preuves, le Cadre Harmonisé se heurte souvent, néanmoins, à un manque cruel de preuves directes, censées guider les experts dans leurs analyses bisannuelles. En l'absence de ces indicateurs, fournissant en théorie une image instantanée de l'insécurité alimentaire au sein des découpages administratifs de niveau trois, les données indirectes constituent les seules preuves sur lesquelles les experts peuvent s'appuyer pour réaliser leurs classifications. Parmi ces preuves indirectes, la télédétection spatiale a un rôle à jouer, en fournissant des indicateurs de végétation et de pluviométrie dont on attend de pouvoir évaluer leur impact sur les récoltes à venir et, dès lors, sur l'insécurité alimentaire. Le recours aux indices de végétation et de pluviométrie est d'ailleurs encouragé par la FAO, pour son cadre IPC, très similaire au Cadre Harmonisé, lorsque les preuves directes font défaut.

Le Bénin n'échappe pas à ce manque de données directes, poussant dès lors les experts du Cadre Harmonisé à accumuler les preuves indirectes, plus facilement accessibles, afin de servir de support à leurs analyses. Par ailleurs, la version 2.0 du Manuel du Cadre Harmonisé, à paraître prochainement, entend

faire une place plus importante aux indicateurs de végétation et de pluviométrie, en fournissant des balises pour leur interprétation lors des analyses.

Dans ce contexte, la présente recherche entend mener une étude évaluative de la pertinence de recourir à ces indices, au Bénin, pour l'identification d'éventuels impacts négatifs ou positifs sur les productions annuelles et, dès lors, sur la sécurité alimentaire du pays. Pour ce faire, le travail se divise en trois grandes parties. La première, plutôt contextuelle, revient sur le concept de sécurité alimentaire et son évolution au cours du temps, ainsi qu'aux moyens mis en œuvre pour mesurer l'insécurité alimentaire. A cette occasion, elle aborde brièvement le cas du cadre IPC de la FAO, dont la plupart des principes guident également le Cadre Harmonisé. La recherche est ensuite replacée dans son contexte spatial, à savoir le Bénin, au travers de considérations sur l'agriculture du pays, sa situation alimentaire et nutritionnelle, ainsi que les grandes politiques actuellement à l'œuvre dans ces secteurs. La seconde partie, quant à elle, consiste en une étude qualitative du Cadre Harmonisé, au travers d'une matrice SWOT, visant à mettre en évidence les grandes faiblesses de l'outil, tel qu'il est actuellement pensé et mis en application au Bénin. Une telle approche critique n'existant pas encore dans la littérature scientifique, nous nous sommes essentiellement basé, pour proposer nos conclusions, sur des entretiens semi-directifs, la participation aux réunions nationales et régionale, ainsi que sur les documents produits, en interne, lors des analyses nationales. Enfin, la dernière partie s'attachera plus spécifiquement à la question des indices de végétation et de pluviométrie. Via la recherche d'éventuelles corrélations fiables entre ces indices et les rendements du maïs et du manioc, nous chercherons à identifier si les indices sont susceptibles de trouver une place au sein des analyses Cadre Harmonisé, au Bénin. En outre, ce détour par les indices de végétation et de pluviométrie sera également l'occasion de revenir sur les limites du Cadre Harmonisé, identifiées dans la seconde partie, afin d'en approfondir les réflexions.

OBJECTIFS

Traiter de la télédétection, dans le contexte du Cadre Harmonisé, répond à diverses préoccupations, parmi lesquelles l'arrivée prochaine du Manuel 2.0 qui accorde une place plus importante aux indicateurs de végétation et à l'interprétation de leurs impacts sur la sécurité alimentaire des pays d'Afrique de l'Ouest. Les acteurs béninois cherchent, d'ores et déjà, à obtenir ces indicateurs, auprès de leurs partenaires, sans pour autant avoir une idée précise de ce qu'ils représentent, ni de la façon la plus pertinente de les intégrer dans leurs analyses. L'intérêt que manifestent les acteurs du Cadre Harmonisé face à ces indicateurs de végétation s'explique principalement par la pauvreté des données dont ils disposent et par la possibilité, dès lors, d'ajouter des données fiables supplémentaires dans leurs analyses.

Les images satellites offrent, en effet, l'avantage d'être disponibles en temps presque réel, à distance et pour n'importe quelle région du monde. D'ailleurs, le recours à l'imagerie satellite est encouragée par la FAO, lorsque la mesure de l'insécurité alimentaire se heurte à une absence récurrente de données fiables (REMBOLD, *et al.*, s. d.). Enfin, bien que le contexte béninois soit singulier, les questions soulevées ici sont susceptibles d'être pertinentes pour les autres pays pratiquant l'analyse Cadre Harmonisé. En effet, le Bénin constitue un laboratoire intéressant dans l'appréhension des obstacles et des conditions sociotechniques nécessaires à l'intégration efficace de ces nouvelles données au sein du Cadre Harmonisé dans sa globalité. Les difficultés soulevées concernent à la fois des questions techniques, à savoir la pertinence même du recours aux indices de végétation pour le suivi de la sécurité alimentaire, et des questions socio-institutionnelles ayant trait à la production des données, à leur utilisation par les acteurs concernés et à leur adéquation avec les besoins spécifiques de l'analyse Cadre Harmonisé telle qu'elle a été élaborée depuis une vingtaine d'années.

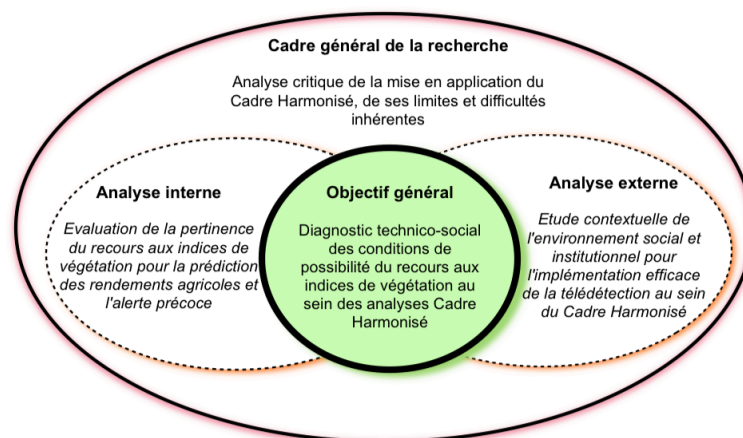


Figure 1 - Objectifs général et secondaires

L'**objectif général** poursuivi consiste donc en une évaluation sociotechnique des conditions de possibilité de l'utilisation des indices de végétation, issus de la télédétection spatiale, au sein des analyses Cadre Harmonisé. L'adjectif *sociotechnique* renvoie ici à la nécessité d'aborder ces indices de végétation sous l'angle de leur pertinence et de leurs limites, lorsqu'ils sont appliqués à un contexte bien particulier, en l'occurrence le Bénin. En outre, il sous-entend également que l'implémentation efficace de ces nouvelles données, au sein des analyses Cadre Harmonisé, procède de conditions sociales et institutionnelles à remplir, sans quoi ces données n'y trouveraient tout simplement pas leur place. Cet objectif repose sur le postulat d'une complémentarité souvent ignorée entre les études techniques et qualitatives. Pourtant, des chercheurs ont déjà souligné à quel point l'efficacité d'une technologie ne repose pas uniquement sur ses qualités intrinsèques, sinon surtout sur le contexte socio-institutionnel dans lequel elle cherche à s'imposer (LATOURET, 2012).

Afin de parvenir à cet objectif, la première étape consistera en une analyse critique du Cadre Harmonisé, tel qu'il est actuellement mis en application au Bénin. Cette première approche qualitative est incontournable pour appréhender, en profondeur, le **cadre général** dans lequel s'inscrit la recherche. En outre, cela permettra également de mettre en évidence les forces et faiblesses de l'outil Cadre Harmonisé dans l'une de ses applications concrètes. Une telle évaluation est actuellement introuvable dans la littérature scientifique et, par ailleurs, elle constituera en elle-même une grande partie de l'analyse socio-institutionnelle qui sera exploitée, ultérieurement, lorsqu'il s'agira de traiter spécifiquement des indices de végétation. Dans cette partie, nous nous poserons essentiellement la question des limites actuelles du Cadre Harmonisé et des leurs implications sur les analyses produites.

Dans un second temps, la poursuite de l'objectif général passera par la réalisation de deux **objectifs secondaires** qui correspondent aux deux facettes sociotechniques précitées. Bien qu'abordés de manière séparée, par souci de clarté, ces deux objectifs secondaires doivent être considérés comme les deux faces d'un même problème qui sont à la fois complémentaires et indissociables. Du côté technique, la volonté des acteurs du Cadre Harmonisé de recourir aux indices de végétation pose la question de la pertinence de ceux-ci dans le contexte béninois. En effet, la faible variabilité interannuelle du NDVI, observée notamment pour les communes de l'Atacora, semble remettre en question la pertinence d'une utilisation de ces indices de végétation pour le suivi de l'insécurité alimentaire au Bénin.

Afin de répondre à cette interrogation, nous chercherons à identifier s'il existe une corrélation entre les indices de végétation retenus par le Manuel 2.0 du Cadre Harmonisé et les rendements agricoles du maïs et du manioc. Cet exercice sera réalisé pour douze communes, appartenant à quatre départements

situés au Nord, au Centre et au Sud du pays. On cherchera, de cette façon, à établir s'il existe une variabilité dans cette corrélation, entre ces différents départements qui correspondent à des zones climatiques différentes. Nous nous attendons, en effet, à observer une corrélation plus élevée dans les départements du Nord, bénéficiant d'un climat plus sec et avec une pluviométrie moins élevée, que dans les départements du Sud. Cela permettra de mettre en évidence une variation éventuelle de la sensibilité des rendements au NDVI et aux autres indicateurs de végétation et de pluviométrie retenus. En cela, il s'agira également d'identifier les indicateurs les plus pertinents à utiliser, dans un souci d'économie de temps et d'énergie pour les analystes impliqués dans le Cadre Harmonisé. Plus fondamentalement, ce sera également l'occasion de discuter si le pilier de la disponibilité alimentaire, autour duquel gravite la majorité des données utilisées lors des analyses, ne devrait pas être tout simplement relativisé en faveur d'autres aspects de l'insécurité alimentaire, actuellement négligés.

D'un autre côté, une analyse contextuelle et qualitative visera à évaluer les compétences disponibles, les besoins spécifiques du Cadre Harmonisé en termes de formats de données, le cadre institutionnel, etc. qui constituent autant d'éléments conditionnant la bonne utilisation des données issues de la télédétection. En effet, le recours à de nouvelles données doit non seulement répondre aux exigences propres du Cadre Harmonisé mais également aux usages concrets qu'en feront les acteurs, dans leurs processus d'analyse. A cette occasion, nous verrons qu'une partie non négligeable des faiblesses du Cadre Harmonisé, identifiées à l'occasion de l'étude qualitative, auront une implication également dans le bon usage des indices de végétation. Nous serons également en mesure d'en tirer des conclusions plus générales, dépassant le cas unique du Bénin.

Au terme de ce cheminement, nous tenterons de réfléchir sur comment cette recherche autour des indices de végétation et de pluviométrie, quels que soient les résultats obtenus, se révèlent surtout être une nouvelle occasion de parvenir à saisir les limites inhérentes au Cadre Harmonisé, tel qu'il se présente actuellement en théorie et tel qu'il est appliqué concrètement au Bénin.

MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE¹

Concernant la partie qualitative, qui alimente à la fois le cadre général de la recherche et l'analyse externe, la méthodologie adoptée s'est divisée en deux grands volets. Le premier outil méthodologique mis en œuvre a été l'observation participante. Celle-ci renvoie, en sociologie, à l'observation immédiate de l'objet de la recherche par le chercheur (SIMIAND, 1960, p. 98). Dans le cas du Cadre Harmonisé, la plus-value d'une approche aux limites de la sociologie consistait à aller au-delà du Manuel et de ses principes, afin de mettre en lumière des *manières de faire*, c'est-à-dire des pratiques qui s'éloignent, bien souvent, de la théorie et/ou l'adaptent par de micros ajustements, en fonction des situations concrètes qui se présentent. Une telle approche visait donc à rendre intelligibles les *modes d'application* du manuel qui, pris seul, ne pouvait fournir une image pertinente de l'analyse Cadre Harmonisé.

En outre, une partie de cette recherche repose également sur l'analyse approfondie des résultats produits par la Cellule Nationale d'Analyse (CNA) du Bénin, à savoir non seulement les fiches de communication définitives mais aussi les dossiers complets ayant servi aux analyses et qui ne sont généralement pas accessibles au public.

Enfin, le dernier outil méthodologique mis en œuvre repose sur les entretiens semi-directifs qui constituent l'outil par excellence des enquêtes qualitatives. L'objectif des rencontres était de dresser une cartographie des acteurs prenant part aux analyses du Cadre Harmonisé, de comprendre leurs apports respectifs, leurs rôles mais également de mettre en évidence les manquements et les faiblesses de l'analyse. Ces différentes rencontres se sont révélées précieuses, principalement dans la mise en évidence des limites inhérentes à l'analyse Cadre Harmonisé au Bénin. Ne s'agissant pas d'une étude approfondie des discours et des pratiques sociologiques, c'est la matrice SWOT qui a été retenue, pour sa clarté et sa simplicité, comme grille d'analyse des entretiens réalisés.

La partie technique de ce travail, qui cherche à vérifier s'il existe une corrélation entre les indicateurs de végétation et les rendements agricoles au Bénin, reposera principalement sur, d'une part, le traitement des images satellites afin d'en extraire les indices de végétation et, d'autre part, une analyse statistique visant à mettre en évidence d'éventuelles corrélations entre ces derniers et les rendements agricoles. La volonté

¹ Par souci de clarté, la méthodologie sera reprécisée, de manière plus approfondie, dans les chapitres correspondants aux deux grands volets de l'analyse.

de comparer la sensibilité des rendements aux indices de végétation, entre différents départements béninois, sera réalisée grâce au choix de douze communes, appartenant à quatre départements situés au Sud, au Centre et au Nord du pays.

Par souci de simplification, nous rechercherons uniquement une corrélation entre les indices de végétation et les rendements du maïs et du manioc. Ce choix procède de deux justifications : d'un côté, ces cultures sont présentes et conséquentes dans les quatre départements choisis et, d'un autre côté, il s'agit également des cultures dominantes entreprises par les ménages béninois (INSAE, 2018).

PREMIÈRE PARTIE

CONTEXTE DE LA RECHERCHE

I. INTRODUCTION

La première partie de ce travail répond à la nécessaire contextualisation de la recherche et se décline en deux grands volets. En premier lieu, nous aborderons la problématique de la sécurité alimentaire du point de vue de sa définition, afin de suivre l'évolution historique du concept et, corollairement, des pratiques qui lui sont attachées. Nous nous intéresserons, par ailleurs, à la mesure de l'insécurité alimentaire, avant d'aborder plus spécifiquement la classification IPC de la FAO. Dans un second temps, nous replacerons la recherche dans son environnement spatial, au travers d'une brève présentation du Bénin. Celle-ci s'accompagnera, en outre, de quelques considérations relatives à son secteur agropastoral, à sa situation alimentaire et nutritionnelle globale, ainsi qu'à un état des lieux concis des programmes nationaux actuellement mis en œuvre dans ces différents secteurs.

II. LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE : UNE PRÉOCCUPATION MONDIALE

Reconnue, en 1948, comme un droit universel de l'être humain, l'alimentation pose immanquablement la question de la faim et de l'insécurité alimentaire qui sévissent encore dans de nombreuses régions du monde (PIETERS *et al.*, 2012, p.5). La « faim zéro » constitue, d'ailleurs, l'un des dix-sept Objectifs du Développement Durable, adoptés par les Nations-Unies pour l'horizon 2030. Par cet objectif, l'ONU entend parvenir à fournir à tout individu un « accès tout au long de l'année à une

alimentation saine, nutritive et suffisante », à mettre un terme à la malnutrition, à doubler la productivité et les revenus agricoles et à améliorer la résilience des systèmes productifs (ONU, 2018).

Cependant, l'objectif poursuivi apparaît encore lointain. En effet, dans son rapport de 2018 sur l'état de la sécurité alimentaire dans le monde, la FAO signale la préoccupante augmentation du nombre de personnes en situation de malnutrition, depuis trois ans (FAO, 2018, p. xii). Cette croissance est tangible, notamment, en Afrique de l'Ouest, où la prévalence de la malnutrition est passée de 10,4%, en 2010, à 15,1%, en 2017. En chiffres absolus, cela se traduit par plus de 20 millions de personnes supplémentaires atteintes de malnutrition (FAO, 2018, p. 6). Au-delà de ce constat négatif, la sécurité alimentaire charrie également son lot d'inquiétudes concernant le futur. Ces dernières s'articulent principalement autour de quatre aspects : la persistance de la malnutrition chronique, l'augmentation des impacts des catastrophes naturelles et des chocs climatiques, la dégradation des services écosystémiques servant de support à la production alimentaire et, enfin, l'impossibilité de remplacer ceux-ci par des activités humaines de substitution (ERICKSEN, 2008).

Face aux objectifs d'élimination de la faim, les changements climatiques viennent effectivement se dresser comme un nouvel obstacle de taille (SAINA *et al.*, 2013, p. 241). Pour la FAO, l'augmentation globale du taux de malnutrition, observée en 2017, s'explique principalement par la variabilité climatique qui conduit, dès à présent, à une baisse de la production alimentaire mondiale (FAO, 2018, p. 39). Cette variabilité se manifeste, notamment, par un accroissement des épisodes de sécheresse, en raison d'une diminution des précipitations observées dans certaines régions du monde (FAO, 2018, p. 48). Ces phénomènes conduisent, en conséquence, à une modification des saisons des cultures (SAINA, *et al.*, 2013, p. 241) mais surtout à une vulnérabilité accrue des pays qui doivent déjà composer avec la pauvreté et l'insécurité (IDEM, p. 235). En effet, les impacts négatifs induits par les changements climatiques sont ressentis de manière plus aigüe dans les régions dont les systèmes agricoles et les moyens de subsistance restent précaires (FAO, 2018, p. 112). Selon le Programme des Nations-Unies pour l'Environnement (PNUE), la production alimentaire mondiale pourrait diminuer de 25%, d'ici 2050, et cela uniquement en raison de la variabilité climatique et de l'exacerbation des épisodes climatiques extrêmes (IDEM, p. 241). Pour L. Brown, le monde serait d'ores et déjà dans une phase de transition allant de l'abondance alimentaire vers une période de rareté (BROWN, 2012, p. 3).

A. UN CONCEPT ÉVOLUTIF

Traiter de la sécurité alimentaire sous-entend que cette dernière existe en tant que phénomène bien circonscrit. En réalité, la sécurité alimentaire a fait l'objet de nombreux débats et tentatives de clarification du concept, au travers de diverses définitions reposant chacune sur des hypothèses et représentations sous-jacentes (FAO, 2013). Par ailleurs, chaque définition implique toujours des modalités d'action qui lui sont propres (FAO, 2012, p. 16). Ainsi, entre 1975 et 1991, une trentaine de définitions de la sécurité alimentaire ont été proposées et successivement critiquées (GROCHOWSKA, 2014, p. 825). En cela, la sécurité alimentaire se révèle être un concept évolutif, dont l'acception s'est enrichie, au cours de l'histoire, en impliquant une modification des pratiques qui lui étaient liées, qu'il s'agisse des modes de mesure de l'insécurité alimentaire ou de la nature des interventions censées remédier à cette dernière (PIRKLE, 2014). Progressivement, la sécurité alimentaire a glissé d'une conception uniquement ancrée autour de la notion de disponibilité des aliments vers une conception intégrant la multi-dimensionnalité et la complexité de la problématique alimentaire (PIETERS *et al.*, 2012).

Le concept moderne de sécurité alimentaire tire ses origines du début des années 1970, marqué par un contexte de crises alimentaires globales ayant entraîné d'importants épisodes de famine, notamment en Éthiopie et dans la région du Sahel. En réaction, la *World Food Conference*, tenue à Rome en 1974, débouche sur l'adoption de la Déclaration universelle de l'élimination définitive de la faim et de la malnutrition, ainsi que la création d'institutions dédiées, telle que le Comité de la Sécurité Alimentaire et, surtout, sur la définition du concept même de sécurité alimentaire (PIRKLE, 2014).

A l'issue de cette conférence, la grande préoccupation mise en exergue est celle de la disponibilité alimentaire, tandis que le possible manque de nourriture est alors perçu comme une menace pour le bon développement mondial (GROCHOWSKA, 2014, p. 823). Les mesures envisagées mettent donc l'accent sur l'augmentation de la production agricole, la reconstitution des stocks céréaliers internationaux (PIRKLE, 2014) et la poursuite des aides alimentaires attribuées aux pays en développement (RONDEAU, 1975, p. 673). La première vraie définition considère, en effet, la sécurité alimentaire comme une « *capacité d'approvisionnement* », couplée à une « *maîtrise des prix* » (ONU, 1974). Basée uniquement sur le suivi de la production céréalière, cette optique préconise naturellement la croissance des quantités alimentaires disponibles, sans considération pour leur qualité intrinsèque (PIRKLE, 2014).

Dix ans plus tard, un changement de paradigme intervient, sous l'impulsion de l'économiste et philosophe indien Amartya Sen qui affirme que les crises alimentaires sont avant tout liées à des

défaillances dans l'accessibilité aux aliments. En effet, il montre en quoi les crises alimentaires peuvent intervenir indépendamment de la production alimentaire, en raison notamment d'inégalités dans la répartition des aliments. Dès lors, la sécurité alimentaire n'est plus uniquement une question d'activités agricoles mais de dysfonctionnements institutionnels nationaux et internationaux (PANGARIBOWO *et al.*, 2013, p. 4). Parallèlement, les conclusions sont aussi tirées de la Révolution Verte qui, malgré l'augmentation des rendements dans certaines régions, n'a pas été, pour autant, suivie d'une réduction de l'insécurité alimentaire (FAO, 2013). Face à ces constats, une nouvelle définition est proposée par la FAO, en 1983 : la sécurité alimentaire repose également, désormais, sur « *un accès physique et économique aux denrées alimentaires* » (PIRKLE, 2014).

Quelques années plus tard, en 1996, la Banque Mondiale propose, à son tour, sa définition de la sécurité alimentaire, en mettant cette fois en exergue la qualité de l'alimentation qui doit permettre « *une vie active et en bonne santé* » (PIRKLE, 2014). De plus, la Banque Mondiale introduit une distinction fondamentale entre l'insécurité alimentaire aiguë, c'est-à-dire provoquée par des conditions transitoires et ponctuelles (catastrophes naturelles, conflits, crises économiques, etc.), et l'insécurité chronique, associée à une insuffisance alimentaire de longue durée (PIETERS *et al.*, 2012).

Cette prise de conscience émergente de l'importance de la qualité des aliments se confirme et s'affirme au cours des années 1990. La consommation alimentaire adéquate n'est plus seulement une question de quantités, sinon de vertus nutritives. La problématique de la nutrition s'accompagne d'un intérêt particulier pour la santé, l'environnement et l'hygiène (PANGARIBOWO *et al.*, 2013, p. 4). En outre, la mesure de l'énergie calorique absorbée laisse la place à celle des déficiences en nutriments essentiels au bon fonctionnement du corps humain, parmi lesquels la vitamine A ou encore le Fer (PIETERS *et al.*, 2012). En somme, la sécurité nutritionnelle s'atteint en consommant des aliments qui permettent « *les performances physiques du corps humain, sa résistance et sa résilience face aux maladies, à la grossesse, à la lactation et au travail physique* » (FRANKENBERGER *et al.*, 1997 ; cité par PANGARIBOWO *et al.*, 2013, p. 4).

Finalement, la définition aujourd'hui largement acceptée est retenue en 1996, lors du Sommet mondial de l'alimentation (WORLD FOOD SUMMIT, 1996), puis affinée en 2001:

« *La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, la possibilité physique, sociale et économique de se procurer une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active* » (FAO, 2013)

En définitive, ces définitions successives de la sécurité alimentaire traduisent une évolution, depuis une vision centrée sur l'approvisionnement en denrées alimentaires vers une conception où la satisfaction des besoins s'impose comme point central. Les préoccupations se sont également déplacées du niveau global, qui était celui des stocks et des marchés, vers le niveau local de la consommation des ménages et des individus (PADILLA, 1997). Par ailleurs, les besoins nutritionnels des individus sont finalement mesurés, tandis que la dernière définition intègre l'aspect culturel et social de l'alimentation (PIRKLE, 2014). En effet, le concept d'accès social explique que les normes socio-culturelles mènent, elles aussi, à des exclusions alimentaires (PIETERS *et al.*, 2012, p. 6).

Depuis lors, la sécurité alimentaire est représentée comme étant supportée par quatre piliers interdépendants : la disponibilité, l'accessibilité, l'utilisation et la stabilité. La disponibilité renvoie à l'aspect quantitatif de l'alimentation qui repose à la fois sur la production, les stocks mais également le marché et l'aide humanitaire. L'accessibilité, quant à elle, sous-entend que les ménages disposent de ressources suffisantes pour obtenir la nourriture adéquate. L'utilisation fait référence aux besoins physiologiques devant être remplis par une alimentation saine et nutritive. Enfin, la stabilité introduit une dimension temporelle au sein des trois piliers précédents (PIETERS *et al.*, 2012, p. 5). La sécurité alimentaire doit également être envisagée comme étroitement liée au concept de vulnérabilité qui traduit la probabilité, pour un ménage ou une population, de devenir *food insecure*. Cette probabilité est fonction, principalement, des chocs négatifs qui surviennent mais aussi de la capacité de résilience des populations face à ceux-ci (PIETERS *et al.*, 2012, p. 6).

Malgré la relative adhésion envers la définition proposée par la FAO, la sécurité alimentaire continue d'être l'objet de critiques et de débats théoriques. Pour Renata Grochowska, la sécurité alimentaire est un problème vicieux [*wicked problem*], défini par Rittel et Webber comme un problème pour lequel aucune approche rationnelle et scientifique n'existe véritablement, en raison de son caractère imprécis et du manque de consensus à son encontre. Ainsi, ces problèmes présentent la particularité d'être uniques et irréductibles, jamais résolus de manière définitive et appelant toujours des solutions inédites et non reproductibles (GROCHOWSKA, 2014, p. 824).

En conclusion, il est désormais largement admis que la sécurité alimentaire renvoie à un phénomène pluridimensionnel, ayant des implications à la fois globales et locales, internationales et individuelles. En cela, la sécurité alimentaire affiche la même complexité que le concept de *food system* dont les aspects explicatifs sont à la fois culturels, politiques, économiques et environnementaux (ERICKSEN, 2008). Dès lors, l'analyse de la sécurité alimentaire n'a de sens que si elle est fondée sur une méthode

intégrant une approche multicritère et interdisciplinaire (FAO, 2013). Cependant, nous verrons ultérieurement que la multiplicité des facettes de la sécurité alimentaire rend l'analyse complexe, non seulement dans son élaboration conceptuelle mais également dans sa mise en œuvre concrète.

B. ÉVALUER LES RISQUES D'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Les années 1990 ont vu la multiplication des réflexions et des tentatives d'élaboration de méthodologies et d'outils pour la mesure de l'insécurité alimentaire (DILLEY & BOUDREAU, 2001, p. 230). Celle-ci se conçoit souvent à la fois comme un état des lieux de la situation et une évaluation des risques encourus, grâce à une approche en terme de vulnérabilité. Cette dernière se définit comme « la propension ou la prédisposition à être affecté de manière négative (...) elle englobe une variété de concepts et d'éléments, dont la sensibilité et la susceptibilité d'être touché, négativement, ainsi que le manque de capacité pour faire face et s'adapter » (CAMPOS *et al.*, 2014, p. 1048). Mesurer la vulnérabilité implique donc l'identification d'événements pouvant provoquer des impacts négatifs sur la situation alimentaire, ainsi que des caractéristiques propres aux groupes et individus qui les rendent, justement, vulnérables en cas de choc imprévu (DILLEY & BOUDREAU, 2001, p. 234). La combinaison des approches sécurité alimentaire et vulnérabilité présente le double avantage de générer une vision dynamique de la sécurité alimentaire, tout en prenant en considération ses aspects imprévisibles. Sur cette base, de nombreux cadres analytiques ont été mis au point par les différentes institutions impliquées dans la sécurité alimentaire, afin de formaliser les approches mentionnées ci-dessus mais sans pour autant parvenir à un consensus véritable (SCARAMOZZINO, 2006, p. 1).

En Afrique de l'Ouest, dont il sera principalement question dans ce travail, l'analyse de la sécurité alimentaire est majoritairement menée au travers de deux grands outils : l'Analyse et Cartographie de la Vulnérabilité (ACV) du Programme Alimentaire Mondial (PAM) et l'Analyse de l'Économie des Ménages (HEA), mise en œuvre par Save The Children (SC) (ACF & WFP, 2012, p. 4). L'ACV est conçu comme un outil de ciblage des populations en insécurité alimentaire mais également de compréhension des causes de cette insécurité, afin de proposer les meilleures aides possibles. En outre, un suivi des risques permet une appréhension de la vulnérabilité à court et long terme (PAM, 2007). Quant à l'HEA, il repose sur des enquêtes de terrain dont l'objectif est de cerner les moyens d'existence des ménages et leurs vulnérabilités, afin de permettre une anticipation des situations d'insécurité alimentaire (HEA SAHEL, 2018). Ces deux approches utilisent des méthodologies mais également des échelles spatiales différentes, si bien que leurs résultats présentent souvent des aspects contradictoires et, dès lors, difficilement conciliables (ACF & WFP, 2012, p. 5 et 6). Cette incohérence entre les méthodes d'analyse constitue un obstacle important à

la mise en œuvre d'actions efficaces et à un ciblage précis des populations concernées par l'insécurité alimentaire (ACF & WFP, 2012, p. 7).

Méthodologiquement parlant, ces cadres analytiques se construisent autour d'une série d'indicateurs, choisis comme reflétant l'état de la situation alimentaire d'une région ou la vulnérabilité d'une population. Un indicateur se définit comme une caractérisation d'une réalité ou d'un phénomène qui serait trop complexe à quantifier de manière directe. Plus une situation est complexe, plus les indicateurs doivent être multipliés et combinés pour parvenir à une image réaliste de la situation appréhendée. Dès lors, chaque indicateur utilisé est appelé à éclairer un aspect bien particulier, tandis que leur combinaison doit déboucher sur une perspective systémique de la situation à saisir (PANGARIBOWO *et al.*, 2013, p. 15).

Les indicateurs de l'insécurité alimentaire et de la vulnérabilité existent pour toutes les échelles spatiales, depuis le niveau mondial jusqu'au niveau des ménages et des individus (PANGARIBOWO *et al.*, 2013, p. 15). Par exemple, au niveau national, la FAO fournit l'*Indicator of Undernourishment* (FAOIU) qui réalise la synthèse entre la quantité de calories disponibles, au sein d'un pays, et l'inégalité d'accès à ces calories, avec la consommation calorique de référence pour un individu en bonne santé (IDEM, 2013, p. 16). À l'opposé de l'échelle, les mesures anthropométriques renseignent sur l'état de nutrition des individus, par les calculs de l'Indice de Masse Corporelle ou encore la mesure du périmètre brachial (IDEM, 2013, p. 20).

En conséquence, l'analyse de la sécurité alimentaire prendra des formes différentes selon : les indicateurs choisis, les liens établis entre eux, la pondération accordée aux indicateurs, la définition de la sécurité alimentaire retenue, les données disponibles, le cadre interprétatif des analystes, les objectifs poursuivis, etc. On comprend alors aisément que les possibilités d'analyse soient presque infinies. Les cadres analytiques produits restent donc des outils reposant sur une simplification de la réalité, comme tout bon modèle, et mettant l'accent sur certains aspects plutôt que d'autres, en fonction de justifications plus ou moins objectives et objectivées (FAO, 2008).

C. L' «INTEGRATED FOOD SECURITY PHASE CLASSIFICATION» (IPC)

C'est bien cette diversité des approches, tant au niveau international que local, qui a conduit à la volonté de parvenir à un outil commun et standardisé, afin de permettre une compréhension harmonisée de l'insécurité et de la vulnérabilité alimentaire, ainsi que d'uniformiser les stratégies de réponses aux crises. Le cadre analytique IPC (*Integrated Food Security Phase Classification*) a été élaboré par la FAO, en 2004, pour la mesure de l'insécurité alimentaire en Somalie. Rejointe par une quinzaine de partenaires, dès 2007, la FAO a poursuivi un travail de développement de l'IPC, afin de lui donner une ampleur internationale et d'en implémenter l'utilisation à large échelle. Actuellement, l'IPC est utilisé dans une trentaine de pays d'Amérique latine, d'Afrique et d'Asie. L'objectif central de cet outil est de proposer un langage commun aux experts et décideurs politiques de tous les pays, de manière à harmoniser l'analyse de l'insécurité alimentaire et la prise de décision face aux crises (FAO, 2019). En effet, jusqu'à alors, le caractère changeant du concept de sécurité alimentaire, ainsi que la multiplicité des indicateurs et de leurs combinaisons, rendaient les analyses difficilement conciliables entre elles.

Conçu comme un outil de description de la sévérité des situations alimentaires et nutritionnelles, le cadre IPC classe les zones étudiées en cinq phases de gravité (minimale, sous pression, crise, urgence et famine), avec pour objectif de participer à une meilleure compréhension des crises et à une efficacité accrue des prises de décision. En outre, cette classification est réalisée pour deux horizons temporels : la situation courante et la situation projetée pour les trois mois à venir (FAO, 2012, p. 22). L'IPC se donne quatre grands principes qui sont la formation d'un consensus technique, la classification de la sévérité et des causes de l'insécurité alimentaire, la communication pour l'action et l'assurance de qualité des informations. La classification repose sur deux conditions majeures : la convergence des preuves qui sont analysées selon un tableau commun et le consensus technique entre les experts (FAO, 2012, p. 28). L'IPC se présente comme un cadre d'analyse pouvant être employé dans n'importe quel contexte, permettant ainsi les comparaisons aisées entre les différentes régions du monde (FAO, 2012, p. 11). En revanche, l'IPC ne consiste pas en un outil de collecte des données, ni d'évaluation des réponses apportées aux crises (FAO, 2019).

Le pari de l'IPC est de fournir aux décideurs politiques des résultats à la fois simples en terme de compréhension mais rigoureux en terme de construction (FAO, 2012, p. 15). Pour cela, la partie communication revêt une importance primordiale, puisqu'elle permet la diffusion des résultats de l'analyse

grâce auxquels la prise de décision doit être améliorée (IDEM, p. 58). Il est à noter, cependant, que l'existence de cet outil commun n'invalide pas pour autant les autres cadres analytiques. En effet, les institutions impliquées continuent, très souvent, d'employer leurs propres cadres analytiques, dont les résultats sont ensuite transférés vers le cadre IPC.

La méthodologie détaillée de l'IPC ne sera pas abordée ici de manière détaillée, sinon de façon indirecte dans le chapitre consacré au Cadre Harmonisé, outil similaire au cadre d'analyse IPC mais développé pour l'Afrique de l'Ouest (FAO, 2019).

III. LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE AU BÉNIN

D. BRÈVE PRÉSENTATION DU BÉNIN

Pays côtier d'Afrique de l'Ouest, la République du Bénin présente une superficie de 112 622 km² entourés par le Togo (à l'Ouest), le Burkina Faso (au Nord-Ouest), le Niger (au Nord) et le Nigéria (à l'Est). Divisé en douze départements, le Bénin comporte également septante-sept communes et trois grandes zones climatiques (AMBASSADE DE LA REPUBLIQUE DU BENIN EN FRANCE, s. d.) :

- **Le Sud**, avec son climat subéquatorial et ses deux saisons pluvieuses (d'avril à juillet et de septembre à octobre) ; la température moyenne oscille entre 25°C et 28°C
- **Le Nord**, caractérisé par un climat soudanien aux températures plus élevées et aux précipitations moins abondantes ; deux saisons s'y succèdent (sèche de novembre à mai et humide de mai à octobre)
- **Le Sud-Ouest**, dont le climat particulier est qualifié d' « atacorien » et bénéficie de températures fraîches et de précipitations abondantes

Ces variations climatiques au sein du pays se traduisent par des paysages contrastés. En effet, le Nord est majoritairement pourvu de savanes et de zones montagneuses semi-arides. Au contraire, le Sud se compose d'une grande plaine côtière où se rencontrent marécages, lacs et lagunes (KOLAWOLE, 2008, p. 15 et 16).

En 2018, le PNUD classait le Bénin à la 161^{ème} place sur 188 pays, selon l'Indicateur du Développement Humain. En effet, le pays compte encore plus de 17% de sa population en situation de pauvreté

multidimensionnelle. Le pays se caractérise, en outre, par un taux de croissance démographique de 2,8%. En 2018, un peu moins de la moitié des 11,2 millions d'habitants vivaient en ville (PNUD, 2018).

E. ALIMENTATION ET NUTRITION AU BÉNIN

1) LE SECTEUR AGRICOLE AU BÉNIN

En fournissant 70% des emplois et plus de 30% du PIB du pays, l'agriculture constitue l'un des secteurs économiques majeurs du Bénin. Elle se caractérise par la prédominance de petites exploitations dont les rendements annuels restent faibles (FAO & CEDEAO, 2018, p. 10). Malgré cela, le pays parvient à produire 91,7% de ses besoins alimentaires. Les importations répondent aux manques et sont constituées, en grande partie, de produits animaliers qui font relativement défaut au pays, entraînant des déficiences en fer largement répandues au sein de la population (FAO & CEDEAO, 2018, p. 11).

En 2016, les terres agricoles occupaient environ 33% de la superficie totale du pays (LA BANQUE MONDIALE, 2016). Le Bénin se divise en huit zones agro-écologiques, caractérisées par leurs sols, leur climat et la répartition des cultures principales (voir ci-contre). Les cultures vivrières au Bénin sont dominées par le manioc, les haricots, l'igname, le sorgho, le maïs, le mil et le riz. L'agriculture, au Bénin, est à grande majorité pluviale, avec environ 10% de terres irriguées (PNUD, 2015, p. 82). Pour l'exportation, le pays produit également le coton, l'huile de palme, le café, le tabac, les noix de cajou et les arachides. Ces deux dernières sont d'ailleurs considérées comme d'importantes sources de richesses potentielles. Quant à l'élevage, la production reste faible et mal structurée, bien que des efforts soient déployés dans le domaine de l'aquaculture, depuis quelques années (FAO BENIN, 2012, p. 14).

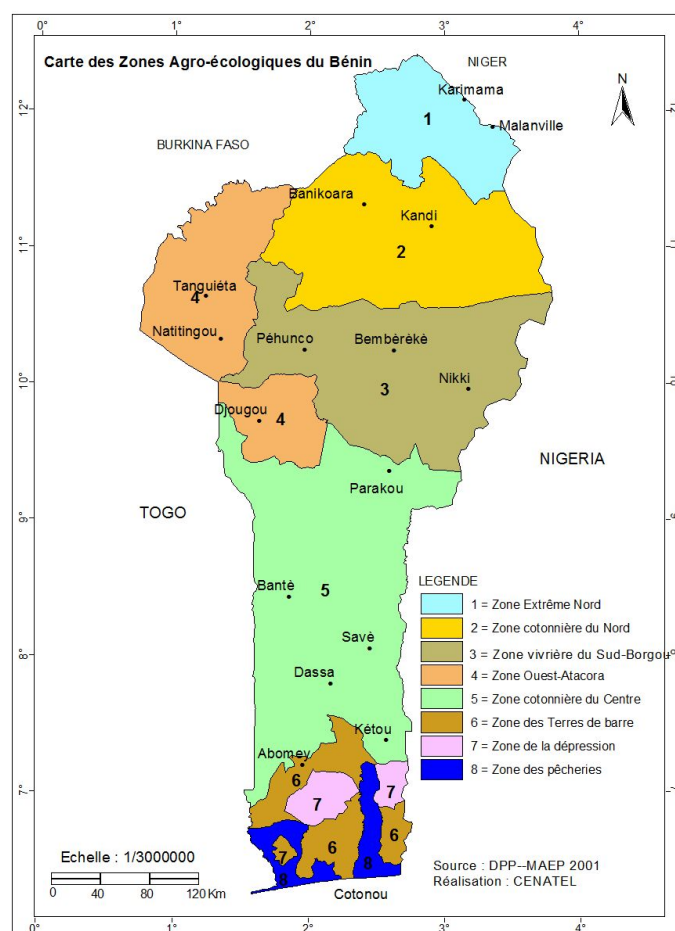


Figure 2 - Zones agroclimatiques du Bénin (MAEP, CENATEL, 2001)

L'agriculture béninoise enregistre, de manière générale, une croissance de ses productions de céréales et de tubercules, de même que de ses cultures maraîchères (PNUD, 2015, p. 19). Cependant, cette augmentation est largement attribuable à l'extension des surfaces cultivées, tandis que les rendements agricoles sont, eux, considérés comme étant globalement à la traîne (PNUD, 2015, p. 20). Outre les rendements moyens, le faible accès aux marchés, où les produits ne sont par ailleurs rémunérés que faiblement, explique que les petits agriculteurs constituent souvent la frange la plus précaire de la population. En outre, la production agricole reste largement tributaire des aléas climatiques (PNUD, 2015, p. 75).

2) SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE

Bien que le Bénin soit considéré comme le second pays d'Afrique de l'Ouest où la faim est la moins présente, la situation alimentaire et nutritionnelle y reste considérée comme grave (PNUD, 2015, p. 18). Des progrès ont certes été réalisés, entre les années 1990 et 2014, avec une diminution de moitié de la prévalence de la faim, passant de 22,5% à 11,2%. De façon similaire, la mortalité infantile a, elle aussi, enregistré des avancées significatives (PNUD, 2015, p. 45). Cependant, en 2017, l'insécurité alimentaire touchait encore environ 9,6% de la population béninoise. L'année précédente, le pays se situait à la 82^{ème} place sur 118 dans le classement établi selon l'Indice de la Faim dans le Monde. Parmi la population touchée, on considérait, en 2014, que 34% des enfants de moins de 5 ans étaient en malnutrition chronique, dont 12,1% de manière sévère (NAGO *et al.*, 2018, p. 1). Quant à l'insuffisance pondérale des enfants de moins de 5 ans, elle oscillait entre 17% et 19% (PNUD, 2015, p. 18).

Au sein du pays, l'insécurité alimentaire et nutritionnelle touche les départements et communes de manière différenciée. En effet, dans les départements du Mono, de l'Atacora et du Couffo, la consommation des ménages est considérée comme limite ou pauvre à des taux approchant les 50%. À l'échelle communale, les résultats sont d'autant plus interpellant, puisque dans l'Atacora par exemple, on recense 81% des ménages ayant une consommation pauvre à Toucountouna, 78% à Boukombé, 78% à Matéri, etc. (PNUD, 2015, p. 47). En 2017, l'Analyse Globale de la Vulnérabilité et de la Sécurité Alimentaire (AGVSA) faisait également état d'une forte variabilité concernant les moyens d'existence. Ainsi, 34,2% de la population de Kpomassè mettaient en place des stratégies d'urgences d'épuisement de leurs actifs. Ce chiffre dépassait même les 50% dans la commune de Djakotomey (AGVSA, 2017).

3) PROGRAMMES NATIONAUX POUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE

L'agriculture constitue un secteur d'investissement majeur au Bénin, dans la mesure où ce secteur contribue encore à 32,5% du PIB, fournissant ainsi environ 70% des emplois du pays. Dans ce contexte, l'agriculture est véritablement perçue comme un moteur et une priorité pour le développement du pays. À la faveur de l'arrivée d'un nouveau régime, en 2016, l'agriculture a été élevée au rang de secteur d'investissements massifs (FAO & CEDEAO, 2018, p. 5). Le Programme d'Action du Gouvernement (PAG) prévoit ainsi le développement des filières phares que sont le maïs, le riz, l'ananas, l'anacarde et la pisciculture (FAO, 2018, p. 10).

La même année, la CEDEAO a adopté un Programme Régional d'Investissement Agricole et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle (PRIASAN) pour la période allant de 2016 à 2020. Ce Programme affiche comme grands objectifs la sécurité alimentaire, la souveraineté alimentaire et l'amélioration des conditions de vie rurales (FAO & CEDEAO, 2018, p. 5). En ce qui concerne le Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP) du Bénin, l'année 2017 a vu l'adoption d'un Plan Stratégique du Secteur Agricole (PSDSA) pour la période 2017-2025 et d'un Plan National d'Investissements Agricoles et de Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle (PNIASAN) pour la période 2017-2021. L'objectif principal du PSDSA vise à l'amélioration des performances agricoles, en vue d'atteindre la souveraineté alimentaire, la sécurité alimentaire et nutritionnelle, tout en contribuant au développement économique et social du pays. Quant au PNIASAN, il se donne pour objectifs d'améliorer la productivité, de promouvoir les Chaînes de Valeur Ajoutée, d'améliorer la résilience contre les changements climatiques, d'améliorer la sécurité alimentaire et nutritionnelle, d'améliorer la gouvernance des systèmes d'informations, de proposer des financements et des assurances adaptés aux différents types d'exploitation (MAEP, 2017).

L'objectif de sécurité alimentaire, visé par le PNIASAN, se décline en objectifs spécifiques et en actions concrètes pensés comme suit (MAEP, 2017, p. 25) :

- Amélioration de la productivité :
 - o Disponibilité et accessibilité des semences de qualité
 - o Accessibilité aux intrants agricoles
 - o Mécanisation adaptée
 - o Accessibilité aux connaissances professionnelles et aux innovations
 - o Promotion des infrastructures hydro-agricoles
- Promotion des Chaînes de Valeur Ajoutée :
 - o Contrôle des normes commerciales
 - o Mise en œuvre des Indications Géographiques

- Renforcement de la résilience :
 - o Innovations agricoles
 - o Gestion durable des terres agricoles

Dans ce programme, la sécurité alimentaire est donc directement rattachée à la problématique de la production agricole, de manière à influencer sur le pilier « disponibilité » de la sécurité alimentaire.

Du côté de la nutrition, le Projet Multisectoriel de l'Alimentation, de la Santé et de la Nutrition (PMASN), financé par la Banque Mondiale pour la période 2014-2019, se divise en deux grands axes stratégiques. Le premier, à court terme, se penche sur les interventions nutritionnelles directes mises en place au niveau communautaire, principalement. Cet axe se décline en trois objectifs principaux que sont l'amélioration de l'alimentation des nourrissons et des jeunes enfants, la prévention des maladies infantiles et la diversification alimentaire renforcée. Le second, à long terme, vise essentiellement à la sécurité alimentaire. Ce Programme ne concerne, en outre, que trois groupes cibles : les enfants de moins de 5 ans, leurs mères et les femmes enceintes. En outre, le PMASN ne concerne que 40 communes sur 77 (CAN, 2014, p. 3).

DEUXIÈME PARTIE

APPLICATION DU CADRE HARMONISÉ AU BÉNIN

I. INTRODUCTION

Le Cadre Harmonisé constitue un outil de mesure de l'insécurité alimentaire relativement bien implanté en Afrique de l'Ouest et, tout particulièrement, au sein des pays du Sahel qui ont été les moteurs de son développement. Cependant, les études et les évaluations de cet outil, diffusées dans la littérature scientifique, sont rares, voire inexistantes. Cela ne signifie en rien que les évaluations ne soient pas menées mais elles semblent être confinées au système interne du Cadre Harmonisé. La possibilité de produire une étude critique du Cadre Harmonisé, appréhendé à travers le suivi de son cycle depuis la réunion nationale jusqu'à la réunion de concertation régionale, constitue une opportunité non négligeable. Cette étude a principalement permis de mettre en évidence l'inévitable *hiatus* entre la théorie, exprimée dans le Manuel du Cadre Harmonisé, et la pratique au niveau national et international. De là, il a été possible de mettre en exergue les grandes faiblesses de l'outil, tout autant que ses qualités indéniables.

II. LE CADRE HARMONISÉ POUR L'ANALYSE DE LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE ET NUTRITIONNELLE DANS LE SAHEL ET EN AFRIQUE DE L'OUEST

À l'instar de l'IPC, le Cadre Harmonisé se présente comme un outil consensuel dont l'objectif est la classification de la sévérité de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle aigüe, en phases courante et projetée, des États du Sahel et d'Afrique de l'Ouest. En outre, le Cadre Harmonisé se donne la même mission de

communication claire et simple des résultats de l'analyse, en vue de favoriser une prise de décision rapide et efficace, face aux crises identifiées (CILSS, 2014, p. 11).

F. DES GROUPES DE TRAVAIL PLURIDISCIPLINAIRES (GTP) AUX ANALYSES DU CADRE HARMONISÉ : LE SUIVI DE L'INSÉCURITÉ ALIMENTAIRE EN AFRIQUE DE L'OUEST (1980 – 2019)

L'évaluation de la sécurité alimentaire, dans les pays du Sahel et en Afrique de l'Ouest, n'a pas attendu le Cadre Harmonisé pour être mise en place. En effet, depuis les années 1980, des Groupes de Travail Pluridisciplinaires (GTP), créés au sein des différents pays concernés, sont dédiés au suivi agro-hydro-météorologique, ainsi qu'au suivi des marchés agricoles et des campagnes agropastorales. Au moyen de leurs bulletins décennaires, ces Groupes participent activement aux Systèmes d'Alerte Précoce (SAP), soutenus par différents partenaires (FAO, FEWSNET, etc.) qui éditent, eux aussi, des bulletins similaires (CILSS, 2014, p. 13).

En 1990, les pays membres du Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS) adoptent, avec l'appui du Réseau de Prévention des Crises Alimentaires (RPCA), la Charte pour la Prévention et la Gestion des Risques Alimentaires (PREGEC), au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Cette Charte sera révisée, ultérieurement, en 2007 et en 2011. Son objectif principal vise, comme son nom l'indique, à améliorer non seulement les processus d'anticipation des crises mais également à réfléchir à de meilleurs mécanismes de réponses à celles-ci. A travers elle, les États membres du CILSS, de l'UEMOA et de la CEDEAO s'engagent, notamment, à collecter les données nécessaires au suivi de la sécurité alimentaire, à les organiser en systèmes d'informations efficaces et, enfin, à traduire les résultats obtenus en actions pertinentes (RPCA, 2012). Cependant, la mise en application rigoureuse de cette Charte commune se heurte à un obstacle de taille : la non cohérence des systèmes de suivi appliqués par les différents partenaires et États qui rend les analyses fournies contradictoires et, dès lors, difficilement exploitables pour une prise de décision rapide et efficace.

Dès lors, en 1999, les pays membres du CILSS et leurs partenaires internationaux prennent l'initiative de développer un outil commun, appelé Cadre Harmonisé, pour la caractérisation de l'insécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest. Ce nouvel outil intègre quatre grands cadres analytiques ayant déjà fait leurs preuves : l'analyse du risque, le Cadre des moyens d'existence durables, le cadre UNICEF pour la

nutrition et l'approche par les quatre piliers de la sécurité alimentaire (CILSS, 2014, p. 11). Le leadership du Cadre Harmonisé est alors confié au CILSS qui œuvrait déjà, depuis sa création en 1973, à l'amélioration de la collecte des données sur la sécurité alimentaire, à leur traitement et à leur bonne diffusion (CILSS, 2014, p. 13). Enfin, à partir de 2008, la décision est prise de rapprocher le Cadre Harmonisé de l'IPC, afin de renforcer toujours plus la comparabilité entre les deux analyses (CILSS, 2014, p. 11).

Aujourd'hui, le processus de l'analyse Cadre Harmonisé est suivi par dix-sept pays, de manière régulière. Le Cameroun, quant à lui, y participe en tant que pays observateur, l'analyse y étant progressivement implantée mais sans qu'elle ne soit encore totalement aboutie. D'ailleurs, les autres pays impliqués ne sont pas tous sur un pied d'égalité, concernant la maîtrise de l'outil. En effet, le Burkina Faso, le Mali, la Mauritanie, le Niger, le Sénégal et le Tchad sont les pays moteurs du Cadre Harmonisé et sont considérés comme capables de mener l'analyse sans appui technique. Au contraire, le Bénin, le Cap Vert, la Côte d'Ivoire, la Gambie, le Ghana, la Guinée, la Guinée-Bissau, le Libéria, la Sierra Léone et le Togo bénéficient toujours d'un appui technique important dans l'élaboration de leurs analyses. Enfin, le Nigéria constitue une catégorie à part, avec seize États sur trente-six actuellement couverts par l'analyse (CILSS & FEWSNET, 2019).

Dans chacun de ces pays, une Cellule Nationale d'Analyse (CNA) se consacre à la collecte des données utiles et à la réalisation de l'analyse Cadre Harmonisé. Ces Cellules ont été formalisées comme devant intégrer des représentants de la majorité des services liés au Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche du pays. En outre, elles doivent également accueillir, en leur sein, des représentants des ONG nationales, ainsi que des bureaux locaux des grandes agences onusiennes (FAO, PAM, etc.) (CILSS, 2014, p. 20). Compte tenu de la multiplicité des données à recueillir, l'efficacité de la Cellule et, dès lors, de l'analyse, repose sur une bonne collaboration et une communication efficace entre les différents acteurs théoriquement impliqués (CILSS, 2014, p. 21).

Dans la réalisation de leur travail, les Cellules nationales sont appuyées par le Comité Technique (CT) du Cadre Harmonisé, dont le rôle consiste à assurer la bonne mise en œuvre de l'outil, tout en réfléchissant à l'amélioration de ses aspects méthodologiques. Par ailleurs, ce Comité Technique est, lui-même, évalué par le Comité de Pilotage du Cadre Harmonisé qui s'attache, en outre, à la question du financement des différentes activités (CILSS, 2014, p. 58).

G. L'ANALYSE CADRE HARMONISÉ DANS SA VERSION 1.0

1) PRINCIPES GÉNÉRAUX

Dans sa version 1.0, le Cadre Harmonisé se construit, globalement, de manière similaire à l'IPC. En effet, il affiche, tout d'abord, les mêmes objectifs que sont l'analyse de la sécurité alimentaire et nutritionnelle, l'identification des populations touchées et l'aide à la décision. Ensuite, le Cadre Harmonisé et l'IPC partagent également le principe directeur des analyses, à savoir la convergence des différentes preuves devant être validées par un consensus technique entre experts (CILSS, 2014, p. 16). Enfin, les deux cadres analytiques présentent de nombreux autres points communs, parmi lesquels la classification de l'insécurité alimentaire, la présentation des résultats sous forme de cartographie, les indicateurs utilisés, etc. (CILSS, 2014, p. 17).

Les acteurs impliqués dans les analyses Cadre Harmonisé regroupent à la fois des acteurs nationaux (décideurs, société civiles, experts, etc.), régionaux (CILSS, CEDEAO, UEMOA) et internationaux (USAID, FAO, UE, etc.). La temporalité de l'analyse est bisannuelle, les réunions nationales et régionales ayant lieu en mars et en novembre. En effet, les analyses ont lieu, dans un premier temps, au niveau national, avant d'être regroupées, validées et synthétisées, au niveau régional, en séances plénières.

La production d'une analyse estampillée Cadre Harmonisé sous-entend le respect d'un cadre analytique commun qui débouche sur la production de résultats uniformisés et comparables entre eux. Les preuves nécessaires pour la réalisation de l'analyse constituent la charpente même de celle-ci : elles doivent permettre de caractériser correctement la situation alimentaire d'une zone, grâce à leur pertinence et à leur fiabilité (CILSS, 2014, p. 23). Le cadre analytique mis en place pour l'analyse Cadre Harmonisé correspond à celui de l'IPC. En effet, les données récoltées sont classées en différentes catégories de preuves qui jouent un rôle différent au sein de l'analyse. Les preuves principales correspondent aux indicateurs dits « de résultat » et dont on considère qu'ils fournissent une information directe sur la situation alimentaire et nutritionnelle. Ensuite, ces indicateurs directs sont discutés et nuancés, à la lumière des données entrant dans la catégorie des « facteurs contributifs » qui constituent, eux, des preuves indirectes de la situation alimentaire et nutritionnelle (CILSS, 2014, p. 24).

Les quatre indicateurs directs sont la consommation alimentaire, l'évolution des moyens d'existence, l'état nutritionnel et la mortalité. Ces indicateurs sont théoriquement alimentés par ce que le Cadre Harmonisé et l'IPC considèrent comme des preuves directes, à savoir le Score de Consommation

Alimentaire (SCA), le Score de Diversité Alimentaire des Ménages (HDDS), l'Échelle de la Faim des Ménages, l'Indice des Stratégies d'Adaptation, le Déficit de Survie et le Déficit de Protection des Moyens d'Existence (CILSS, 2014, p. 27). En revanche, à la différence de l'IPC, le Cadre Harmonisé recourt également à des preuves qui lui sont propres, à savoir le proxy calorique² et le pourcentage de ménages ayant un score alimentaire limite ou pauvre. Ces dernières sont, cependant, considérées comme des preuves indirectes, malgré le fait qu'elles alimentent les indicateurs de résultats (CILSS, 2014, p. 28).

La seconde catégorie d'indicateurs, comme mentionné précédemment, est celle des facteurs contributifs, parmi lesquels le Cadre Harmonisé distingue, d'un côté, les indicateurs de vulnérabilité et de risque et, de l'autre côté, les indicateurs relatifs aux quatre piliers de la sécurité alimentaire. Le rôle de ces facteurs contributifs est de fournir un support à la mise en discussion des indicateurs de résultats. En effet, les facteurs contributifs sont perçus comme des phénomènes susceptibles d'influencer positivement ou négativement la situation alimentaire et nutritionnelle de la zone concernée.

Concernant les indicateurs de vulnérabilité et de risque, les analystes s'intéressent aux stratégies des moyens d'existence (revenus et dépenses des ménages), aux avoirs relatifs (mesure des six types de capitaux), à la politique et aux institutions mais également aux phénomènes exceptionnels (inondations, etc.). En somme, les indicateurs de vulnérabilité renseignent sur le contexte général venant possiblement renforcer ou atténuer l'insécurité alimentaire (CILSS, 2014, p. 35). Enfin, le Cadre Harmonisé se penche également sur les quatre piliers traditionnels de la sécurité alimentaire que sont la disponibilité, l'accessibilité, l'utilisation et la stabilité.

Le schéma ci-contre, commun à l'IPC et au Cadre Harmonisé, présente l'articulation des différents facteurs précédemment mentionnés. En bas à droite, les résultats primaires et secondaires renvoient aux facteurs de résultats qui fournissent des

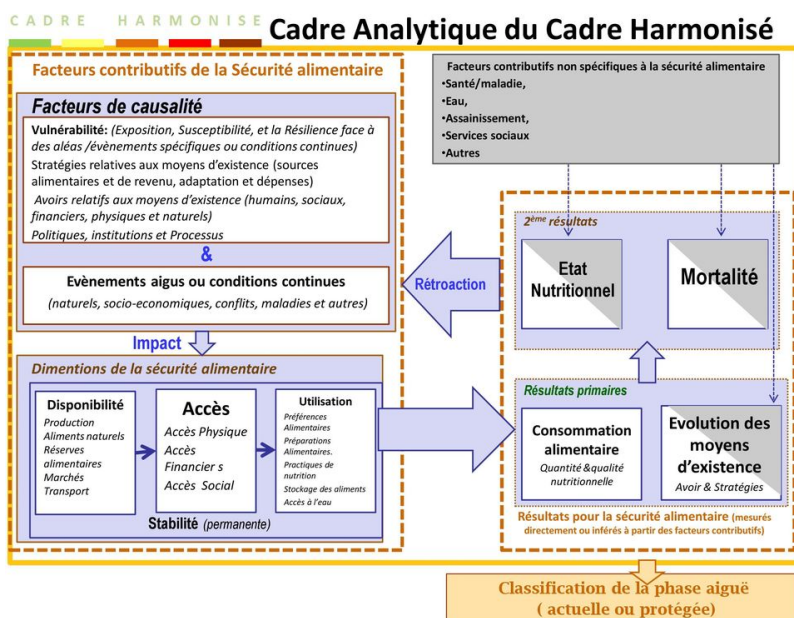


Figure 3 - Cadre analytique commun à l'IPC et au CH (CILSS, 2014)

² Le proxy calorique est calculé en convertissant la production agricole (céréales, tubercules et légumineuses) en calories, puis en divisant le résultat par la population de chaque commune.

informations directes sur la situation alimentaire d'une région. Ces résultats sont influencés par des facteurs de vulnérabilité et des phénomènes imprévisibles et externes (conflits, etc.) qui ont des impacts sur les quatre dimensions de la sécurité alimentaire. Le cadre analytique prévoit un processus de rétroaction qui manifeste l'impact de la situation alimentaire et nutritionnelle sur les facteurs contributifs. Ainsi, par exemple, une situation alimentaire en état d'urgence peut, à son tour, influencer négativement la vulnérabilité des populations. Enfin, le cadre analytique propose également de tenir compte des facteurs extérieurs à la sécurité alimentaire mais ayant pourtant un rôle à jouer, à savoir les systèmes de santé, l'accès à l'eau potable, l'existence de services sociaux performants ou non, etc.

Tout comme l'IPC, le Cadre Harmonisé ne pondère pas les preuves qui participent à l'analyse, c'est-à-dire qu'aucune d'elle n'est considérée, *a priori*, comme ayant un poids supérieur aux autres. Corollairement, cela signifie aussi que l'analyse repose nécessairement sur la multiplication des indicateurs, sans quoi la convergence des preuves ne pourrait être établie (CILSS, 2014, p. 69).

Le but poursuivi, au terme de l'analyse, est la proposition d'une classification des zones administratives de niveau 3, selon la sévérité de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle observée. La classification retenue est aussi celle de l'IPC et se présente comme une succession de cinq stades de sévérité, allant de la phase minimale à la phase de famine. Chaque phase possède une couleur et un descriptif indiquant les conditions nécessaires à la classification de la zone dans la phase dont il est question. En outre, des objectifs d'intervention sont mentionnés pour chacune des phases.

Phase	Description	Objectifs d'intervention prioritaires
Phase 1 : Minimale	Au moins quatre ménages sur cinq sont capables de couvrir leurs besoins alimentaires et non alimentaires sans recourir à des stratégies d'adaptation inhabituelles, ni dépendre de l'aide humanitaire.	Action requise pour développer la résilience et réduire les risques de catastrophe.
Phase 2: Sous pression	Même avec l'aide humanitaire, au moins un ménage sur cinq dans la zone se trouve dans la situation suivante ou pire : une consommation alimentaire réduite et d'adéquation minimale mais incapacité de se permettre certaines dépenses non alimentaires essentielles sans s'engager dans des stratégies d'adaptation irréversibles.	Action requise pour réduire les risques de catastrophe et protéger les moyens d'existence
Phase 3 : Crise	Même avec l'aide humanitaire, au moins un ménage sur cinq dans la zone se trouve dans la situation suivante ou pire : les déficits alimentaires considérables et malnutrition aiguë à des taux élevés ou supérieurs à la normale ; ou marginalement capable de couvrir le minimum de ses besoins alimentaires en épuisant les avoirs relatifs aux moyens d'existence, ce qui conduira à des déficits de consommation alimentaire.	Protéger les moyens d'existence, prévenir la malnutrition, et prévenir les décès.
Phase 4 : Urgence	Même avec l'aide humanitaire, au moins un ménage sur cinq dans la zone se trouve dans la situation suivante ou pire : des déficits alimentaires extrêmes, ce qui résulte en une malnutrition aiguë très élevée ou une mortalité excessive ; OU une perte extrême des avoirs relatifs aux moyens d'existence, ce qui entraînera des déficits de consommation alimentaire à court terme.	Sauver les vies et les moyens d'existence.
Phase 5 : famine	Même avec l'aide humanitaire, au moins un ménage sur cinq dans la zone a un déficit complet en alimentation et/ou autres besoins de base et est clairement exposé à l'inanition, à la mort et au dénuement. (À noter, les preuves pour les trois critères de consommation alimentaire, l'émaciation, et le TBM sont requises pour classer en famine).	Prévenir les décès à grande échelle et éviter l'effondrement total des moyens d'existence.

Figure 4 - Classification de l'insécurité alimentaire (IPC ; CH) (CILSS, 2014)

2) DÉROULEMENT DE L'ANALYSE

L'analyse Cadre Harmonisé, réalisée deux fois par an, procède toujours selon les quatre grandes étapes suivantes :

Les étapes de l'analyse Cadre Harmonisé

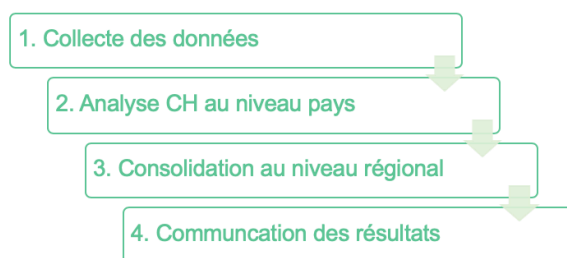


Figure 5 - Étapes de l'analyse Cadre Harmonisé (CILSS, 2014)

Au niveau national, la Cellule en charge de l'analyse Cadre Harmonisé procède, dans un premier temps, à la récolte des données nécessaires auprès des différents partenaires. En outre, certains d'entre eux sont également conviés à la réunion nationale, en tant qu'experts dans leurs domaines respectifs mais également en fonction de leurs connaissances directes des zones administratives de niveau 3 du pays.

Au cours de cette réunion, qui s'étend sur plusieurs jours, l'analyse avance par reports successifs des informations produites au sein de tableaux fournis par le Manuel du Cadre Harmonisé. Ces reports visent à une simplification progressive des données et à une synthèse des preuves initiales jusqu'à parvenir, *in fine*, au classement des zones administratives en cinq phases d'insécurité alimentaire et nutritionnelle. L'analyse se réalise donc au moyen de quatre tableaux, remplis successivement par les analystes. La méthode classique consiste à former des groupes d'experts, parmi les participants à la réunion, et d'assigner une zone administrative à chacun de ces groupes (par exemple, un département). Lorsque le premier tableau est complété par tous les groupes, les résultats obtenus sont alors soumis à la critique des autres participants. Une fois les premiers tableaux validés, les seconds sont alors remplis sur base des premiers, puis soumis à leur tour à la critique collective. Le processus se répète alors pour les derniers tableaux restants.

Le premier tableau correspond à l'inventaire des preuves disponibles. Ce tableau requiert que les preuves collectées concernent le troisième niveau administratif du pays et que soient mentionnées, pour chacune, la source et la date de production de la donnée. Le tableau s'organise en deux grandes parties, les indicateurs de résultats et les facteurs contributifs, tels qu'ils ont été décrits précédemment.

Dans le second tableau, les preuves répertoriées dans le premier tableau sont analysées. Cette étape consiste, principalement, à attribuer un score de fiabilité à chaque preuve. En outre, pour les preuves appartenant aux indicateurs de résultats, une classification leur est attribuée (de 1 à 5), selon la classification de l'insécurité alimentaire commune à l'IPC et au Cadre Harmonisé. Quant aux facteurs contributifs, il est demandé que soit évalué leur impact sur les indicateurs de résultats : positif ou négatif ; léger, moyen ou fort. L'exercice est réalisé autant pour la situation courante que pour la situation projetée sur trois mois. Enfin, chaque preuve s'accompagne d'un paragraphe décrivant son interprétation par les experts et argumentant les raisons de sa classification ou de l'impact qui lui a été attribué.

L'étape suivante synthétise les informations tirées des preuves, afin de fournir une classification pour chaque zone administrative. Pour cela, la classification des indicateurs de résultats et l'évaluation de l'impact des facteurs contributifs sont reportés dans le troisième tableau. Les experts en tirent leurs conclusions et attribuent une couleur à chaque zone, correspondant à la classification finale de celle-ci. Cet exercice est, à nouveau, réalisé pour la situation courante, ainsi que pour la situation projetée.

L'analyse s'achève avec le quatrième tableau qui correspond à la phase d'estimation des populations appartenant aux cinq phases de la classification de l'insécurité alimentaire et nutritionnelle. Dans ce dernier tableau, chaque zone classifiée est accompagnée du chiffre de sa population, ainsi que du pourcentage d'individus appartenant à chacune des phases. Ici, la règle des 20% prévaut : pour que la zone soit classée, par exemple, en phase 2, il est impératif qu'au moins 20% de sa population soit classée en phase 2 ou plus. Comme précédemment, les estimations sont réalisées autant pour la situation courante que pour la situation projetée.

3) DIFFUSION DES RÉSULTATS ET PLANS DE RÉPONSE

À l'issue de l'analyse Cadre Harmonisé, la Cellule nationale produit une fiche de communication qui respecte, à nouveau, un modèle commun à tous les pays. Cette fiche présente, principalement, la cartographie de la classification établie pour la situation courante et projetée, accompagnée des principaux résultats chiffrés tirés des preuves, ainsi que d'un résumé des causes de l'insécurité et du contexte entourant cette dernière (CILSS, 2014, p. 55). La fiche accueille également des réflexions à propos des résultats obtenus, des difficultés inhérentes à la méthodologie, ainsi que des recommandations adressées au CILSS, aux États et aux partenaires (CILSS, 2014, p. 56).

Les résultats nationaux sont, en outre, agrégés et synthétisés au niveau régional, à l'occasion des réunions de concertation PREGEC ayant lieu, elles aussi, de manière bisannuelle. À cette occasion, un

bilan général des campagnes agricoles et pastorales est établi pour l'Afrique de l'Ouest. La réunion fournit également aux partenaires la possibilité de présenter leurs résultats, par exemple concernant le bilan de l'aide alimentaire, ou encore de présenter des nouvelles initiatives en cours, comme le développement de nouveaux outils d'enquête. La réunion de concertation régionale permet d'établir, *in fine*, une cartographie de la sécurité alimentaire et nutritionnelle de l'Afrique de l'Ouest et une note de communication commune à tous les pays qui sont, toutes les deux, discutées et adoptées en séance plénière.

La forme sous laquelle les résultats de l'analyse Cadre Harmonisé sont présentés a pour objectif de fournir une aide efficace à la décision pour les décideurs politiques, ainsi que pour les partenaires techniques et financiers (CILSS, 2014, p. 58). D'ailleurs, l'effort de communication s'inscrit dans les engagements pris par les pays signataires de la Charte PREGEC, évoquée précédemment (CILSS, 2014, p. 53). Au niveau national, les résultats de l'analyse participent à l'élaboration de plans nationaux de réponse. Ceux-ci ne sont pas systématiquement rédigés mais concernent principalement les pays comportant des zones identifiées comme étant en situation de crise, c'est-à-dire en phase 3 ou plus de l'insécurité alimentaire. Ces plans nationaux sont, eux aussi, validés par une réunion internationale. En outre, les résultats sont également utilisés par les partenaires internationaux (PAM, UNICEF, etc.) dans l'élaboration de leurs programmes d'aide alimentaire. Enfin, en cas d'urgences alimentaires, l'analyse Cadre Harmonisé permet de déclencher le recours à la réserve alimentaire régionale, créée en 2013 pour les pays de la CEDEAO (CEDEAO, 2016).

H. PERSPECTIVES FUTURES POUR LE CADRE HARMONISÉ

Les processus d'amélioration du Cadre Harmonisé sont constants, non seulement grâce au Comité Technique mais également aux recommandations régulièrement adressées par les pays, ainsi qu'aux riches discussions émergeant lors des réunions PREGEC. Actuellement, l'optimisation du Cadre Harmonisé est guidée, pour la période 2018 – 2022, par un plan quinquennal de renforcement de la mise en œuvre de l'outil. Ce plan affiche pour objectifs l'amélioration de la coordination technique au niveau régional, l'institutionnalisation de l'outil dans les dispositifs nationaux, l'autonomie de gestion des cycles d'analyse et, enfin, le renforcement des capacités des acteurs nationaux (CILSS & FEWSNET, 2019, p. 2). Le plan vise également à l'amélioration et à l'uniformisation des systèmes nationaux de collecte des données (IDEM, p. 4). A la faveur du plan quinquennal, une réflexion devra également être menée pour l'intégration de l'analyse de l'insécurité alimentaire chronique, ainsi que pour l'élaboration d'un outil d'analyse de la résilience (IDEM, p. 6). Enfin, le Cadre Harmonisé devra également se rapprocher davantage de l'IPC, notamment via la mise en place d'un programme de certification commun aux deux cadres (IDEM, p. 7).

Au-delà du plan quinquennal, la principale amélioration du Cadre Harmonisé repose sur la sortie prochaine d'une version révisée du manuel qui en sera, dès lors, à sa version 2.0. Cette nouvelle version affine encore la description de l'outil, notamment des étapes de l'analyse au sein des Cellules nationales. Sans entrer dans tous les détails, notons que la version 2.0 insiste tout particulièrement sur la définition de la phase 5 (famine), pour laquelle elle détaille de manière approfondie les critères de classification. En effet, la phase 5 étant une situation d'extrême urgence, les données requises doivent répondre à des conditions de fiabilité strictes (CILSS, 2018, p. 22).

Une autre amélioration proposée par la version 2.0 concerne la révision des indicateurs appartenant à la catégorie des facteurs contributifs. En effet, des seuils chiffrés sont désormais proposés pour une série d'indicateurs, permettant ainsi de déterminer facilement si leur impact sur la situation alimentaire est négatif/neutre/positif et, pour chacun des cas, s'il est en outre léger/moyen/fort. Ces indicateurs revus nous intéressent particulièrement, dans la mesure où ils introduisent de manière formelle la possibilité du recours à la télédétection dont il sera question ultérieurement. En effet, la version 2.0 renseigne des seuils de classification pour les indicateurs suivants : le RFE, le VCI, l'ICN et le sNDVI. Nous ne nous attarderons pas, ici, sur ces indicateurs qui seront amplement débattus dans la troisième partie de ce travail (CILSS, 2018, p. 41 et 42).

III. MISE EN ŒUVRE DE L'OUTIL CADRE HARMONISÉ AU BÉNIN

A. LE CADRE HARMONISÉ AU BÉNIN (2015 – 2019)

L'analyse Cadre Harmonisé s'est implantée au Bénin en 2014, soit 15 ans après les pays du Sahel. En effet, il est largement admis, parmi les acteurs, que les pays côtiers bénéficient d'une situation alimentaire plus favorable que leurs voisins, raison pour laquelle l'analyse y est considérée comme moins cruciale.

Depuis 2014, l'initiative de l'organisation de la Cellule Nationale d'Analyse (CNA) était entre les mains de l'Office National d'Appui à la Sécurité Alimentaire (ONASA). En 2016, cependant, le pays a engagé une procédure de liquidation d'un ensemble d'institutions attachées au MAEP, avec la mise en place de nouvelles structures. Au même titre que l'ancienne ONASA qui, dans les faits, a poursuivi les analyses Cadre Harmonisé jusqu'en octobre 2017, la Cellule Technique d'Appui à la Sécurité Alimentaire (CT-

SAGSA) assure aujourd'hui la mission de suivi de la production vivrière nationale, ainsi que les prix sur les marchés, afin de surveiller l'état de la sécurité alimentaire du pays et de formuler des recommandations aux décideurs. A cette occasion, la CT-SAGSA est désormais l'organisme en charge de la réalisation bisannuelle de l'analyse Cadre Harmonisé.

Dans sa mission, la CT-SAGSA est accompagnée par une série de partenaires réguliers que sont les différents services du MAEP, parmi lesquels l'Institution Nationale de la Statistique et de l'Analyse Économique (INSAE), la Direction de la Nutrition et de l'Alimentation Appliquée (DANA), la Direction de la Statistique Agricole (DSA), la Direction de la Production Halieutique (DPH), etc. Parmi les partenaires réguliers, on retrouve également Météo-Bénin, institut en charge des études climatologiques et météorologiques. En théorie, la Cellule Nationale d'Analyse est également censée accueillir des représentants des partenaires internationaux. Cependant, cette consigne est loin d'être toujours respectée.

Tel que mentionné précédemment, le Bénin appartient toujours au groupe de pays considérés comme nécessitant un appui technique de la part du CILSS. Ainsi, outre les membres de la Cellule Nationale, l'analyse Cadre Harmonisé est réalisée en présence de deux consultants du CILSS, chargés de veiller au bon déroulement de l'analyse et au respect des principes et du protocole imposés.

B. MÉTHODOLOGIE DÉTAILLÉE

1) *OBSERVATION PARTICIPANTE*

Pour rappel, le présent chapitre est le résultat d'une enquête qualitative, menée auprès des principaux acteurs du Cadre Harmonisé, au Bénin. Le premier outil méthodologique ayant été mis en œuvre est ce que la socio-anthropologie appelle l'observation participante et qui sous-entend une implication directe du chercheur au sein de son objet d'étude. Cette référence méthodologique a pu être mise en application lors de deux moments forts : la participation aux réunions nationales du Cadre Harmonisé, ainsi qu'à la réunion de concertation PREGEC qui s'est tenue à Cotonou, en mars 2019. A l'issue de ces réunions formelles, les données générées consistaient principalement en prises de notes, à la fois factuelles et interprétatives. L'objectif était à la fois de parvenir à maîtriser l'outil Cadre Harmonisé en tant que tel, tout en mettant en exergue les processus sous-jacents et non explicités ayant cours lors des analyses.

2) ENTRETIENS SEMI-DIRECTIFS

L'entretien semi-directif a pour principe la possibilité d'orienter les discussions de manière partielle, c'est-à-dire autour de thèmes définis préalablement au sein d'un guide d'entretien, tout en laissant à l'interlocuteur une certaine liberté dans le développement de sa réponse, ce que n'autorisent pas les questionnaires fermés. Dès lors, avant chaque rencontre, un guide d'entretien sommaire était élaboré et soumis, ensuite, aux acteurs interviewés. De manière générale, les questions posées s'organisaient autour des thèmes suivants :

- Quels sont les rôles des acteurs interviewés au sein du Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche ?
- Quel(s) type(s) de données sont produites par ces acteurs ? Comment sont-elles traitées et transformées en produits ?
- Quels sont les liens entre ces acteurs et l'analyse Cadre Harmonisé ? Quelle contribution ces acteurs apportent-ils à l'analyse Cadre Harmonisé ?
- Quelles sont les grandes faiblesses du Cadre Harmonisé que les acteurs sont en capacité d'identifier ?
- Comment pourrait-on améliorer l'outil Cadre Harmonisé, selon l'expérience des acteurs ?
- L'outil Cadre Harmonisé est-il pertinent ?
- L'insécurité alimentaire et nutritionnelle constitue-t-elle un domaine suffisamment pris au sérieux par les décideurs politiques ?
- Les données disponibles reflètent-elles correctement la situation alimentaire et nutritionnelle du Bénin ?

Les personnes ayant répondu aux entretiens appartiennent aux institutions suivantes : la Cellule Technique d'Appui à la Sécurité Alimentaire (CT-SAGSA), l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Économique, Météo-Bénin, la Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée, le Ministère de la Santé, la Direction de la Production Halieutique, la Direction de la Production Végétale, la Direction des Statistiques Agricoles, l'Agence Belge de Développement (ENABEL), le Centre National de Télédétection (CENATEL), les mairies de Boukombé, Cobli et Tanguéta.

Chaque entretien réalisé a été enregistré, afin de permettre une analyse ultérieure plus précise que la simple prise de notes. Par souci de clarté, les entretiens ont été analysés au travers de la matrice SWOT (*Strengths/Weaknesses/Opportunities/Threats*). Il s'agit d'un outil communément utilisée pour l'analyse

marketing ou encore l'évaluation de projets. Elle repose sur un double diagnostic : le diagnostic externe des opportunités et des menaces induits par l'environnement direct du projet analysé et le diagnostic interne des forces et faiblesses de ce même projet. Les résultats synthétisés et présentés dans le tableau SWOT seront, ensuite, discutés et nuancés, afin de ne pas diluer la richesse des entretiens.

3) DOCUMENTS DU CADRE HARMONISÉ

Enfin, l'analyse qualitative est également tributaire des documents produits par la Cellule Nationale d'Analyse du Bénin, depuis 2014. Il s'agit, principalement, des dossiers complets des analyses Cadre Harmonisé, comprenant les différents tableaux complétés pour l'ensemble des communes, ainsi que des fiches communicationnelles finales. Les documents qui m'ont été fournis par les acteurs comprennent également une série d'études qui ont servi de données pour les analyses Cadre Harmonisé. Enfin, la participation à la réunion régionale PREGEC m'a également donné accès à l'ensemble des bilans agropastoraux et des analyses Cadre Harmonisé menés par les dix-sept pays d'Afrique de l'Ouest pour la session de mars 2019. L'ensemble de ces documents s'est révélé précieux, principalement dans la mise en évidence des manques importants en matière de données sur lesquelles repose l'analyse Cadre Harmonisé.

C. MATRICE « SWOT »

FORCES	FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none">▪ Outil dynamique et évolutif▪ Outil complet et multidisciplinaire▪ Appui international important▪ Compétences techniques du CILSS▪ Consensus comme garantie de qualité▪ Diversité des acteurs impliqués	<ul style="list-style-type: none">▪ Manques de données alimentant les indicateurs directs▪ Outil complexe et difficilement maîtrisable par les acteurs▪ Peu de reconnaissance nationale▪ Budgets limités▪ Synergie encore faible entre les différents partenaires▪ Concurrences entre départements et Ministères▪ Peu de visibilité des résultats de l'analyse▪ Non implication des acteurs internationaux▪ Pas de prise en compte de l'insécurité alimentaire chronique
OPPORTUNITÉS	MENACES
<ul style="list-style-type: none">▪ Prévision des crises alimentaires liées aux changements climatiques▪ Élargissement des pays membres▪ Tirer profit du dynamisme des acteurs locaux	<ul style="list-style-type: none">▪ Programmes nationaux n'accordant pas un vrai rôle au Cadre Harmonisé▪ Manque de préparation en cas de crise imprévue▪ Incapacité des acteurs à prévoir les évolutions futures (démographie, exode rural, etc.).

D. FAIBLESSES

1) LES DONNÉES

Les données constituent, comme dans toute analyse, la base même de l'édifice Cadre Harmonisé. La majorité des acteurs reconnaissent qu'il s'agit d'un outil performant et puissant, pour autant que l'on puisse l'alimenter avec des indicateurs fiables. Sans eux, en effet, la pertinence des analyses vacille et les manques doivent être comblés par d'autres indicateurs moins probants. Pourtant, en se penchant sur les documents issus des analyses béninoises, le constat de la pauvreté des données utilisées est sans appel. Sur un total de dix analyses réalisées entre octobre 2014 et mars 2019, les indicateurs de résultats, c'est-à-dire les indicateurs directs, apparaissent de la manière suivante :

Réurrence (%) de l'utilisation de données relatives aux indicateurs de résultats dans les analyses Cadre Harmonisé au Bénin (2014 – 2019)

INDICATEURS	RÉCURRENCE
Consommation	20%
Moyens d'existence	50%
Nutrition	20%
Mortalité	0%

Figure 6 - Réurrence (%) de l'utilisation des indicateurs de résultats (2014 – 2019)

De manière générale, les données relatives aux indicateurs de résultats font souvent défaut. Pourtant, ces indicateurs fournissent, théoriquement, une image instantanée de l'insécurité alimentaire d'une zone administrative, puisqu'ils mesurent directement les symptômes de cette insécurité. Corollairement, cela signifie aussi que les preuves constituant la matière de l'analyse se résument, la plupart du temps, aux facteurs contributifs qui restent des indicateurs indirects.

Au Bénin, les indicateurs de la consommation alimentaire proviennent de l'enquête AGVSA, menée tous les cinq ans par l'INSAE, avec l'appui du PAM. Les années où l'enquête n'est pas réalisée, l'analyse recourt systématiquement à un indicateur indirect spécifique au Cadre Harmonisé et inconnu de l'IPC : le proxy calorique. Cet indicateur particulier se calcule à partir de la production agricole, convertie en calories, divisée par le chiffre de la population. Il s'agit donc, bien souvent, de l'unique indication sur la consommation alimentaire des ménages dont disposent les experts. Pourtant, celui-ci est largement reconnu comme non pertinent. D'une part, cet

indicateur ne prend pas en compte l'inégale répartition des productions alimentaires. Ainsi, pour les communes du Sud, le proxy est systématiquement classé en phase 4 car la production y est assez faible. Pourtant, ces communes finissent généralement par être classées en phase 1 ou 2, au terme de l'analyse. D'autre part, le calcul ne considère qu'une portion des productions alimentaires, à savoir les céréales, les tubercules et les légumineuses, laissant de côté notamment les produits halieutiques qui constituent, pourtant, une part importante de l'alimentation, surtout le Sud du pays. Bien que cet indicateur soit reconnu comme inutile à l'analyse, il continue pourtant d'être utilisé. En effet, sans lui, la partie réservée aux indicateurs directs, dans l'analyse, resterait souvent entièrement vide.

L'absence flagrante de données relatives à la nutrition et à la mortalité représente un obstacle non négligeable à la production de l'analyse Cadre Harmonisé. En effet, bien que ces enquêtes ne concernent généralement que les enfants et les femmes enceintes, laissant de côté d'autres franges vulnérables comme les personnes âgées, les données qui en résultent sont fondamentales pour l'évaluation de l'insécurité alimentaire d'une population.

Finalement, les données relatives aux moyens d'existence sont les plus récurrentes, principalement grâce au suivi des cheptels, mené par le MAEP, ainsi qu'à l'analyse de la pauvreté monétaire des populations. Cependant, les données semblent se raréfier d'année en année. En effet, celles-ci étaient systématiquement utilisées de 2014 à 2016, puis ont disparu des analyses. Le Cadre Harmonisé prévoit également l'utilisation des résultats issus des enquêtes sur l'économie des ménages (HEA), implantées au Bénin depuis 2016. Cependant, aucune mention n'y est faite dans les analyses du Cadre Harmonisé.

La pauvreté des données n'est pas une spécificité béninoise mais semble récurrente dans la majorité des pays participant à l'analyse, à l'exception notamment du Niger et du Sénégal. La rareté des données découle d'une causalité multiple. En ce qui concerne le Bénin, la justification la plus évidente provient de la faiblesse des campagnes de collecte des données, enquêtes adéquates se révélant trop peu fréquentes. L'ampleur des ressources financières et humaines requises, pour de nombreuses enquêtes, constitue la raison principalement invoquée pour expliquer leur caractère irrégulier et non systématique. Selon les acteurs, les enquêtes nutritionnelles, qui impliquent des mesures anthropométriques et qui sont indispensables au suivi de la malnutrition modérée et sévère, seraient les plus coûteuses.

Face à ces manquements importants, les recommandations formulées à l'encontre du CILSS réclament régulièrement une aide à la mise en œuvre des enquêtes de terrain. Cependant, le Cadre Harmonisé n'a jamais eu l'ambition d'organiser la collecte des données et ce rôle est même explicitement rejeté. Il incombe, en effet, aux différents départements des Ministères et devrait être financé par les gouvernements mais les acteurs soulignent un désintérêt général des décideurs envers l'outil et, *a fortiori*, envers la collecte de ce type de données.

Un second problème ayant rapidement émergé, lors des entretiens, provient du manque de communication et de coordination entre la CT-SAGSA et certains de ses partenaires. En effet, contrairement à ce que la CT-SAGSA imaginait, certains partenaires disposent de données intéressantes pour l'analyse Cadre Harmonisé mais ils ne sont pas sollicités pour cette dernière. Les partenaires s'attendent, en effet, à recevoir un avis annonçant la tenue des réunions mais cette notification fait parfois défaut. C'est à la faveur des entretiens réalisés que le dialogue semble avoir pu être rétabli.

La mauvaise communication ne concerne pas uniquement cet appel préalable à la tenue des réunions mais également la nature et la forme des données à fournir au Cadre Harmonisé. À plusieurs reprises, les acteurs ont souligné le manque de formulation explicite des besoins réels. En effet, les partenaires ne savent pas, *a priori*, quels types de données peuvent se révéler utiles. Or, pour être pertinentes, les données doivent obligatoirement être calibrées pour correspondre aux exigences particulières du cadre analytique. Par exemple, le Cadre Harmonisé ne travaille qu'avec des données relatives au troisième niveau administratif, c'est-à-dire au niveau communal pour le Bénin. Dès lors, les données agrégées pour les niveaux supérieurs se révèlent inutilisables, lors des analyses. Cette inadéquation provient du manque d'explicitation des besoins de la part des experts mais également de la faible information sur le Cadre Harmonisé dont disposent la grande majorité de leurs partenaires. Certains membres de la CNA, eux-mêmes, font preuve d'un manque de maîtrise de l'outil, entraînant une mauvaise coordination des efforts.

Moins évidente, la temporalité des enquêtes constitue également un obstacle majeur à l'utilisation de leurs résultats dans les analyses Cadre Harmonisé. Ce dernier n'admet pas l'utilisation de données dépassant les trois mois d'ancienneté, pour des raisons évidentes. En effet, la situation alimentaire étant un phénomène dynamique, l'actualité des données est primordiale. En outre, même lorsque la récolte des données a été organisée moins de trois mois avant l'analyse Cadre Harmonisé, il est également nécessaire de tenir compte du temps de traitement et de validation des

données qui entraîne parfois un décalage important. Dès lors, le Cadre Harmonisé recourt parfois à des données provisoires, à défaut de pouvoir profiter des données vérifiées. En conséquence, les acteurs réclament assez unanimement l'augmentation de la période de validité des données mais cela pose, cependant, la question de la pertinence des données anciennes pour une analyse censée refléter la situation alimentaire et nutritionnelle courante.

Enfin, la disponibilité et la fiabilité des données constituent des enjeux fondamentaux de l'amélioration des analyses Cadre Harmonisé. Pour certains acteurs, peut-être plus pessimistes ou réalistes, la situation alimentaire et nutritionnelle réelle du Bénin serait largement sous-estimée et mal comprise, principalement en raison du manque d'indicateurs directs et d'enquêtes complètes. En outre, lorsque les données existent, de nouvelles objections émergent et remettent en question leur fiabilité. C'est notamment le cas de la Coopération belge qui s'inquiète du manque de pertinence des données recueillies par le MAEP, notamment en ce qui concerne le suivi des prix sur les marchés.

2) *L'ANALYSE*

Sans surprise, le financement des réunions constitue également un motif d'insatisfaction. Dans la mesure où l'analyse repose sur le consensus entre experts, leur présence est indispensable, afin de parvenir à une interprétation correcte des preuves disponibles. Dans l'idéal, les experts devraient avoir une connaissance approfondie du terrain et des communes. Cependant, dans le cas béninois, le budget alloué à l'organisation des réunions d'analyse ne cesse de s'amenuiser, conduisant dès lors à une diminution du nombre de participants auxquels il n'est plus possible de proposer un défraiement. Pourtant, en l'absence d'indicateurs directs, le consensus des experts est d'autant plus fondamental et permet seul de décider de la classification finale d'une zone. Les débats sont, en conséquence, fortement animés mais à nouveau, la qualité de l'analyse ne peut provenir que de la qualité de l'expertise des participants et de la multiplicité de leurs compétences. L'insuffisance du nombre de participants aux analyses concerne également les acteurs internationaux (PAM, FAO, etc.) dont la CNA du Bénin regrette l'absence, lors des réunions. Sans qu'une justification ne soit apportée, ces acteurs semblent ne jamais répondre aux invitations lancées par la CT-SAGSA.

Par ailleurs, le manque d'indicateurs directs pose la grande question de l'impartialité des analystes. Plus le manque est grand, plus les conflits d'intérêts et les enjeux politiques sont susceptibles d'émerger au sein des discussions. Cette menace est probablement plus marquée dans

les pays en conflit mais elle n'est pas, pour autant, inexistante ailleurs. L'intervention des experts du CILSS est, néanmoins, une garantie apportée à la neutralité des analyses.

Enfin, les acteurs du Cadre Harmonisé des pays impliqués, de manière générale, regrettent le manque de visibilité des résultats du Cadre Harmonisé et le peu d'intérêt manifesté à son égard par les décideurs politiques. La réunion PREGEC de mars 2019 a été l'occasion de réaffirmer la nécessité d'une communication proactive de la part des acteurs impliqués dans l'analyse Cadre Harmonisé mais ceux-ci semblent manquer de ressources pour véritablement se faire entendre.

3) LE CONTEXTE INSTITUTIONNEL

Les analyses Cadre Harmonisé s'inscrivent également dans un contexte institutionnel, au sens large, qui ne leur est pas forcément toujours favorable. En effet, comme cela a été mentionné précédemment, la diffusion des informations et des données, entre les différents départements du MAEP, pose certaines difficultés. Celles-ci découlent, notamment, de la compétition palpable entre certains départements du MAEP. Certains pratiquent, volontairement, la rétention de données et refusent de les partager avec les autres départements.

La rivalité entre départements ne concerne pas uniquement le MAEP mais existe également entre les différents Ministères. En effet, les données nutritionnelles utilisées par le Cadre Harmonisé, lorsqu'elles existent, proviennent généralement de la Direction de l'Alimentation et de la Nutrition Appliquée (DANA) qui est un département du MAEP. Pour la Coopération belge, cette mainmise du MAEP sur les questions de sécurité alimentaire et nutritionnelle pose véritablement problème. En effet, pour eux, le MAEP devrait se concentrer uniquement sur les données relatives au secteur agropastoral, tandis que la nutrition devrait relever exclusivement du Ministère de la Santé qui dispose bien plus des compétences nécessaires.

Toujours en ce qui concerne la circulation des données au sein des institutions, la réforme de 2016 a porté un coup dur à l'organisation qui s'était auparavant mise en place. Avec la liquidation d'une série d'institutions locales, les acteurs du Cadre Harmonisé se plaignent désormais du manque de répondants sur le terrain qui, auparavant, étaient en première ligne pour recueillir les informations pertinentes et les faire remonter aux niveaux hiérarchiques supérieurs. Ces dispositifs de remontée des informations et d'alertes précoces sont progressivement en train d'être reconstruits mais ils restent actuellement plus faibles qu'auparavant.

Le manque global d'intégration et de synergie est également manifeste entre les différentes initiatives ayant pour objet la sécurité alimentaire et nutritionnelle du pays. En effet, il n'existe pas encore de lien solide et avéré entre l'analyse Cadre Harmonisé et les nombreuses initiatives locales. La déconnexion entre ces différents niveaux d'action entraîne une situation relativement chaotique, au sein de laquelle les diverses initiatives se juxtaposent les unes par rapport aux autres, sans que des ponts ne soient érigés entre elles. Non seulement les experts du Cadre Harmonisé sont-ils étrangers à la majorité des dynamiques communales mais les acteurs communaux n'ont, eux, qu'une connaissance vague, voire nulle, de l'existence même de l'outil Cadre Harmonisé. Cela peut s'expliquer, notamment, par le manque de retombées directes et locales des analyses Cadre Harmonisé.

Enfin, l'intégration du Cadre Harmonisé au niveau national pose question et reste largement insuffisante. Les acteurs du Cadre Harmonisé s'en remettent généralement au CILSS et aux partenaires internationaux pour obtenir les financements nécessaires à leurs activités mais ceux-ci ne sont pas durables. Cependant, aucun pays ne dispose aujourd'hui des financements adéquats provenant directement des gouvernements. En conséquence, dans le cas du Bénin, la CNA voit, année après année, ses effectifs s'amoinvrir en raison des coupes budgétaires. Ce manque de reconnaissance nationale du Cadre Harmonisé conduit certains à avoir le sentiment de ne pas être pris au sérieux, bien qu'ils soient convaincus de l'intérêt et de la plus-value de cet outil.

E. LES FORCES D'UN OUTIL DYNAMIQUE

Les critiques adressées au Cadre Harmonisé sont nombreuses parce que les entretiens étaient dirigés en ce sens mais également par volonté des acteurs de voir l'outil évoluer. Malgré cela, ils sont aussi les premiers à défendre l'outil pour ses potentialités analytiques importantes. Si l'outil est critiqué, son existence même n'est cependant jamais remise en question.

Malgré les imprécisions des données, la majorité des acteurs du Cadre Harmonisé considèrent que les résultats finaux sont satisfaisants, en raison notamment de l'implication de nombreux experts ayant une connaissance approfondie du terrain. La qualité des résultats provient, en outre, du caractère multidisciplinaire de l'outil qui provoque le débat entre ces experts venus d'horizons parfois bien différents. Sa complexité est souvent perçue comme un désavantage, rendant sa maîtrise ardue mais c'est aussi de cette complexité que découlent les performances de l'analyse, lorsqu'il s'agit d'articuler toutes les facettes de la sécurité alimentaire et nutritionnelle.

L'originalité du Cadre Harmonisé, et sa principale force, tient justement à la nécessité absolue d'un consensus entre experts. Dans un contexte où aucune preuve n'est considérée comme ayant un poids plus important qu'une autre et où les données directes font largement défaut, le débat est finalement la seule véritable garantie de fiabilité de l'analyse finale. Plusieurs acteurs considèrent la difficulté de parvenir à ce consensus non pas comme une contrainte mais plutôt comme une assurance de qualité.

Le Cadre Harmonisé présente, en outre, le grand avantage d'être un outil dynamique. Ce caractère se manifeste, d'un côté, dans la volonté d'anticiper les crises au moyen d'hypothèses tournées vers l'avenir. D'un autre côté, le Cadre Harmonisé présente également un aspect fortement évolutif. En effet, les améliorations possibles de l'outil sont constamment discutées, à travers les recommandations adressées par les CNA au CILSS, les réunions PREGEC et le Comité Technique. Les acteurs sont toujours prompts à mettre en évidence les limites de l'outil, afin de pouvoir les repousser et de co-construire un outil d'autant plus performant.

Enfin, les acteurs soulignent fréquemment les compétences du CILSS dans la gestion du Cadre Harmonisé. Si les critiques s'élèvent parfois envers le manque de financement, personne ne remet en question, pour autant, leur leadership. Au contraire, la qualité des formations et de l'accompagnement fournis par le CILSS, lors des réunions nationales, est largement saluée pour sa qualité.

F. OPPORTUNITÉS ET MENACES DANS UN CONTEXTE CHANGEANT

Les opportunités et les menaces s'articulent autour des mêmes défis futurs mais dépendent fortement des orientations qui seront prises et de la place qui sera attribuée au Cadre Harmonisé. La grande question qui anime les acteurs est de savoir si le Cadre Harmonisé sera apte ou non à relever les défis qui se profilent. Le Bénin ne présente pas la même sévérité d'insécurité alimentaire et nutritionnelle que les pays du Sahel. Cependant, les acteurs considèrent assez unanimement que ne pas avoir de problèmes graves aujourd'hui ne signifie pas qu'il ne faille pas se préparer aux problèmes de demain. Dès lors, si le Cadre Harmonisé continue de ne pas être pris suffisamment au sérieux, par les autorités béninoises, il pourrait se montrer défaillant, face à une crise impromptue.

Les défis futurs, qui sont susceptibles de révéler les failles du Cadre Harmonisé au Bénin mais également de réaffirmer avec force son utilité, s'expriment différemment selon les acteurs rencontrés. Pour certains, c'est surtout l'imprévisibilité des crises qui constitue un facteur de vulnérabilité important. En effet, alors que la majorité considère que le pays se porte plutôt bien, en termes de sécurité alimentaire et nutritionnelle, la possibilité d'une crise imprévue constitue un motif de préoccupations majeur. La trop grande confiance envers la situation actuelle conduit certains à redouter qu'une crise inattendue ait des conséquences graves, par manque d'anticipation. Pour d'autres, la menace grandissante des modifications climatiques constitue également une source d'inquiétude importante. Les épisodes de sécheresse prolongés sont notamment redoutés pour leurs impacts potentiels sur la production agricole.

En effet, l'agriculture au Bénin est menacée par les changements climatiques et certaines conséquences sont déjà perceptibles, principalement dans le Nord du pays. Actuellement, un stress hydrique est déjà visible dans cette région, de par la diminution des ressources en eau, ainsi que le tassement des sols qui entraîne leur imperméabilisation progressive (DJOHY, 2017). Certains chercheurs parlent d'une diminution observable des précipitations qui se chiffre comme suit : d'une pluviométrie annuelle de 1215 mm/an, entre 1961 et 1975, on aurait aujourd'hui une moyenne de 1090 mm/an (BOKO, KOSMOWSKI, & VISSIN, 2012, p. 12). Ces perturbations sont également bien perçues par les agriculteurs et les populations locales, comme l'attestent plusieurs enquêtes réalisées dans la région du Nord. En effet, diverses ethnies associent déjà les augmentations de températures aux baisses de rendements ou encore à l'augmentation des maladies culturales (GNANGLE *et al.*, 2011, p. 38).

Enfin, d'autres acteurs encore mettent l'accent sur l'apparition, depuis quelques années, de nouveaux ravageurs des cultures qui s'implantent au Bénin et détruisent une part de plus en plus importante des récoltes. C'est notamment le cas de la chenille légionnaire qui s'attaque aux cultures de maïs.

D'autres préoccupations viennent également de l'extérieur et sont soulevées par la Coopération Belge. Selon eux, le MAEP perçoit encore la sécurité alimentaire et nutritionnelle comme essentiellement liée à la vie rurale. Dès lors, ils craignent que les acteurs ne soient pas en mesure d'anticiper les modifications à venir des modes de vie, induits par une poussée démographique importante et un exode rural toujours plus accentué. En effet, selon les projections, la population béninoise devrait passer de près de 7 millions, en 2002, à 22,1 millions, en 2050. Dans ce contexte,

il devient difficile d'imaginer que des indicateurs alimentaires et nutritionnels, déjà insatisfaisants actuellement, puissent s'améliorer. En outre, le pays est également en proie à un phénomène d'urbanisation et d'abandon des terres agricoles par les plus jeunes. Dès lors, l'insécurité alimentaire pourrait bien se déplacer, progressivement, des campagnes vers les villes (PNUD, 2015, p. 90). Pour la Coopération belge, les acteurs de la sécurité alimentaire et nutritionnelle ne seraient actuellement pas en mesure de préparer les mutations qui s'amorcent déjà depuis plusieurs décennies.

Malgré ce tableau plutôt noir de l'avenir, le Cadre Harmonisé dispose également de grandes opportunités au Bénin. L'élargissement progressif des pays participant aux analyses sont autant d'opportunités de réaffirmer la dynamique internationale dans laquelle le pays se trouve impliqué. Les acteurs béninois peuvent, en ce sens, compter sur un effet d'entraînement et profiter des améliorations introduites par d'autres. En outre, au niveau beaucoup plus local des communes, les acteurs impliqués dans le suivi de la sécurité alimentaire et nutritionnelle affichent une volonté forte d'accompagner les populations vulnérables dans l'amélioration de leurs conditions de vie. En effet, avec l'appui de la Coopération Belge et du programme d'Appui Multisectoriel à la Sécurité Alimentaire et Nutritionnelle dans l'Atacora (AMSANA), une série de communes de l'Atacora ont pris le parti de s'attaquer de front à la question de l'insécurité alimentaire, en consacrant une partie du budget communal au développement de projets communautaires³.

G. RÉFLEXIONS GÉNÉRALES SUR LE CADRE HARMONISÉ

Face à ce bilan partiel de l'analyse Cadre Harmonisé, telle qu'elle est réalisée actuellement au Bénin, une série de réflexions générales émergent. La première grande question que l'on est en droit de se poser concerne la pertinence même d'appliquer un outil commun à un ensemble de pays révélant des disparités importantes. Cette question surgit avec force, en se penchant comme précédemment sur les systèmes de récolte des données des différents pays et, ici plus particulièrement, du Bénin. Le Cadre Harmonisé impose, en effet, une série d'indicateurs permettant d'analyser la situation mais sans se préoccuper de ce qui est réellement disponible, au sein de chaque pays. Cette imposition venue d'en-haut met en difficulté les pays qui ne disposent pas encore d'un réseau suffisant de collecte de données ou, tout du moins, d'un réseau adapté aux exigences du Cadre Harmonisé. Cette nécessité d'obtenir les indicateurs préconisés détourne

³ Potager communautaires, coopératives, recyclage des sacs en plastique en godets pour les semis potagers, etc.

L'attention de voies alternatives d'obtention d'informations qui seraient peut-être plus adéquates ou, du moins, tout aussi pertinentes. Le problème se pose également au niveau de la temporalité des données qui a été discutée plus tôt. Avec l'arrivée du Cadre Harmonisé, la temporalité même des enquêtes menées par les différentes Directions départementales devraient s'adapter mais ce n'est pas toujours le cas. En somme, le Cadre Harmonisé requiert une réorganisation presque totale de tous les réseaux de collecte et de traitement des données, afin que ces derniers s'articulent autour du pivot central que constitue l'outil Cadre Harmonisé. Une telle réorganisation suppose non seulement que les moyens nécessaires soient débloqués mais surtout, que les gouvernements et décideurs acceptent de donner au Cadre Harmonisé le rôle central qu'il est obligé d'assumer, afin de réaliser pleinement son potentiel.

Il existe donc un *hiatus* perceptible entre, d'une part, la réalité du terrain des pays impliqués dans l'analyse et, d'autre part, les exigences théoriques et analytiques de l'outil. En outre, la disparité des réalités nationales produit obligatoirement une disparité dans les analyses qui n'est pas véritablement évaluée et objectivée. La finalité de comparabilité qu'affiche le Cadre Harmonisé s'en trouve fragilisée, sans pour autant être explicitée.

Par ailleurs, de manière générale, les acteurs éprouvent des difficultés à s'insérer au sein d'un cadre ayant été créé ailleurs et pour d'autres qu'eux mais qui leur est pourtant imposé tel quel. Pour cette raison, il semble primordial que les processus d'évaluation du Cadre Harmonisé soient mis en œuvre de la manière la plus participative possible. L'évaluation participative désigne une évaluation à laquelle contribue l'ensemble des parties prenantes d'un projet. Si elle s'est principalement développée dans le champ de l'aide au développement (JACOB & OUVRARD, 2009, p. 10), elle convient tout autant pour l'évaluation d'un outil par ses utilisateurs directs et ses bénéficiaires. Si un regard extérieur est souvent le bienvenu pour saisir les failles d'un système, les acteurs actifs à la base même de ces mécanismes restent probablement les plus aptes à en souligner les faiblesses majeures.

Le manque flagrant de données, lors de certaines analyses, pose également la question de la scientificité du Cadre Harmonisé. Si, effectivement, le consensus est un gage de qualité, celle-ci ne peut également découler que de données rigoureusement récoltées et fiables. Peut-être faudrait-il, dès lors, réfléchir à des conditions minimales de scientificité, sans pour autant rejeter l'enjeu majeur que constitue le consensus technique. Il ne faut pas non plus oublier que ce consensus doit être construit sur la convergence des preuves, or celles-ci n'existent souvent pas en suffisance.

Par ailleurs, la présentation des résultats, sous la forme d'une cartographie, présente de nombreux avantages, notamment en matière de rapidité de compréhension des informations qui y sont reproduites. Cependant, elle cache de manière bien trop importante, elle aussi, ce manque de scientificité relevé à l'instant. En effet, la cartographie est incapable de rendre compte des incertitudes majeures et des hypothèses sur lesquelles elle repose. Si les dossiers d'analyse et les discussions, lors des réunions, laissent apparaître des doutes, la cartographie les efface en se voulant définitive, avec tout ce que cela implique.

Enfin, il est notable que le Cadre Harmonisé n'apporte pas toujours les réponses nécessaires quant aux causes de la vulnérabilité alimentaire. Si, par exemple, un déficit de production constitue une justification facilement abordable pour le Cadre Harmonisé, il en va tout autrement des pratiques sociales qui ne sont ni quantifiées, ni même véritablement explicitées comme elles le devraient. Ainsi, dans le cas du Bénin, le Cadre Harmonisé peine à saisir pourquoi les grandes zones de production sont aussi des zones où la malnutrition sévit avec le plus d'intensité. Sans ces informations cruciales sur les causes sous-jacentes de l'insécurité, il est probable que les acteurs humanitaires et étatiques ne puissent réaliser un ciblage précis des interventions nécessaires (MAXWELL *et al.*, 2018, p. 4). Pourtant, l'identification précise des causes est un élément fondamental pour l'organisation d'une réponse efficace, d'autant que les plans de réponses entraînent la mobilisation d'importants moyens financiers (BROWN, 2013, p. 8). Identifier précisément les problèmes permettrait non seulement de réduire les budgets des plans de réponse mais surtout, de proposer une intervention ciblée et personnalisée.

H. CONCLUSION INTERMÉDIAIRE

La littérature sur le Cadre Harmonisé étant presque inexistante, à l'exception du Manuel et des résultats facilement accessibles au public, la présente recherche n'en a pas été facilitée. Cependant, elle a, dès lors, l'avantage de mettre en évidence l'intérêt d'une telle démarche qualitative pour l'identification des limites de l'outil dans ses applications locales. Par ailleurs, l'intérêt est d'autant plus important que la majorité des faiblesses relevées par les acteurs béninois correspondent aussi aux expériences d'autres pays, comme il a été possible de le constater à la réunion PREGEC du mois de mars 2019. Les faiblesses identifiées ici font également écho à une analyse similaire réalisée au Nigéria (MAXWELL *et al.*, 2018).

Cette étude a été rendue possible grâce à la participation aux réunions et aux entretiens semi-directifs réalisés avec les principaux acteurs clefs du Cadre Harmonisé, au Bénin. L'analyse des données récoltées, au moyen d'une matrice SWOT, a permis de mettre en évidence les qualités attribuées à l'outil. En effet, le Cadre Harmonisé est généralement considéré comme un outil performant et dynamique, en raison notamment de ses améliorations continues, de l'expertise offerte par le CILSS et de l'assurance de qualité que constitue le consensus entre experts. Malgré tout, les acteurs qui gravitent autour du Cadre Harmonisé en soulignent volontiers les limites. La principale concerne les données qui devraient en constituer les fondations mais qui, en réalité, font très souvent défaut. C'est surtout le cas des indicateurs directs de consommation et de nutrition qui en sont presque systématiquement absents. Ce défaut de données découle principalement d'un manque de moyens attribués à leur collecte, ainsi qu'à la temporalité non coordonnée entre la récolte des données et les analyses Cadre Harmonisé. En outre, certains acteurs ont également formulé, à plusieurs reprises, des doutes quant à la fiabilité des données qui, pour certains, présenteraient une vision trop optimiste de la situation alimentaire et nutritionnelle du pays.

À côté des données, l'analyse en elle-même pose également ses propres difficultés, parmi lesquelles le manque de moyens également attribués aux réunions nationales pour les analyses Cadre Harmonisé, qui entraînent la diminution progressive du nombre d'experts engagés durant ces réunions. En outre, le manque de données laisse aussi une porte plus facilement ouverte à la partialité des acteurs impliqués et à l'émergence d'intérêts politiques, bien que les experts mandatés par le CILSS veillent à ce que la neutralité soit conservée par tous. Par ailleurs, les acteurs soulignent également le manque de visibilité et de reconnaissance du Cadre Harmonisé, au niveau national, qui rend leurs efforts parfois inutiles.

Enfin, le Cadre Harmonisé est également impacté par des questions institutionnelles, principalement en raison d'une compétition existant entre les différents départements du MAEP mais également entre le MAEP et le Ministère de la Santé. Par ailleurs, le manque de coordination est également visible dans la faible circulation des informations, entre les différents départements, ainsi qu'entre le terrain et les experts du Cadre Harmonisé.

Les perspectives futures du Cadre Harmonisé se partagent entre défis à relever et opportunités d'affirmer son efficacité dans la gestion des crises. En effet, les acteurs se révèlent préoccupés autant par les changements climatiques que l'apparition de nouveaux ravageurs des cultures. En

outre, ils se montrent inquiets de la possibilité que survienne une crise imprévue qui n'aurait pas été anticipée, en raison du trop peu de crédit accordé au Cadre Harmonisé.

Tout cela nous a finalement amené à réfléchir à la scientificité du Cadre Harmonisé qui n'est pas affirmée et pose parfois problème, notamment dans la transparence des résultats et la fiabilité des données utilisées. Nous avons également souligné le *hiatus* inévitable entre la théorie du Manuel et les pratiques locales qui entraîne une réflexion sur la pertinence de l'emploi d'un outil jugé universel pour le traitement de situations singulières et locales. Enfin, nous avons également adressé la question des causes de l'insécurité alimentaire, qui semblent encore échapper au Cadre Harmonisé, principalement lorsque celles-ci n'ont pas trait à la disponibilité mais à la nutrition et à l'accès social à l'alimentation.

TROISIÈME PARTIE

APPROCHE SOCIOTECHNIQUE DE LA PERTINENCE DU RECOURS AUX INDICES DE VÉGÉTATION POUR L'ANALYSE CADRE HARMONISÉ AU BÉNIN

I. INTRODUCTION

Issue de l'aérospatiale civile, la télédétection connaît un essor majeur, depuis les années 1970 (KOMP & HAUB, 2012, p. 265), avec la multiplication des satellites dédiés à l'observation de la Terre. La télédétection se définit comme « l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer les caractéristiques d'un objet par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec celui-ci » (USHERBROOKE, s. d.). Les images satellites permettent, aujourd'hui, de réaliser un monitoring de la surface terrestre et de ses phénomènes, tels que la déforestation, les inondations ou encore les épisodes de sécheresse (KOMP & HAUB, 2012, p. 265).

L'intérêt des technologies liées à la télédétection est, entre autres, de jouer le rôle de sonnette d'alarme pour des phénomènes à court et moyen termes (HARARY, 2017). Concernant la sécurité alimentaire, la télédétection intervient dans le *Global Monitoring for Food Security* (GMFS), via le suivi de paramètres relatifs à la santé globale de la végétation (KOMP & HAUB, 2012, p. 265). Ces mesures sont rendues possibles grâce aux satellites à orbite polaire qui couvrent l'entièreté du globe terrestre en vingt-quatre heures et proposent une résolution spatiale suffisamment précise (KOGAN, 2019, p. 23). Les observations générées par les satellites sont également à la base de Systèmes d'Alerte Précoce, notamment du projet FEWSNET mis en œuvre par l'USAID (BROWN, 2013, p. 2). L'avantage principal de la télédétection, dans ce contexte, est de permettre des mesures répétées

sur les zones agricoles, sans pour autant nécessité des échantillonnages fréquents à réaliser sur le terrain (HATFIELD & PRUEGER, 2010).

Toujours dans le domaine de la sécurité alimentaire, de nombreuses études ont été menées, afin d'identifier d'éventuelles corrélations entre les indices de végétation, principalement le NDVI, et les rendements agricoles. L'objectif poursuivi par ces études est de parvenir à identifier des corrélations suffisamment pertinentes pour permettre une prévision précoce des rendements des cultures. La prévision des rendements, en effet, lorsqu'elle intervient suffisamment tôt durant la période de développement des cultures, permet de ne pas attendre les récoltes pour constater un éventuel déficit et, en conséquence, d'anticiper les aides nécessaires (MKHABELA *et al.*, 2005).

Ces études ont été réalisées dans de nombreuses régions du monde, depuis le Canada (MKHABELA *et al.*, 2001) jusqu'à l'Inde (ASOKA *et al.*, 2015), et pour des cultures variées, du blé (MORIONDO *et al.*, 2007) au soja (DWYER *et al.*, 2001). Certaines de ces études sont parvenues à mettre en évidence une corrélation linéaire entre le NDVI et les rendements agricoles de la culture étudiée (QUARMBY *et al.*, 1993). Dans d'autres cas, le NDVI se montre insuffisant en lui-même : la corrélation est, dès lors, cherchée avec des valeurs qui lui sont dérivées (valeurs mensuelles, moyennes, etc.) (GROTEN, 1993). Le NDVI est également facilement combinable avec d'autres indicateurs, notamment des indicateurs de pluviométrie (MKHABELA *et al.*, 2005) ou encore les températures moyennes (BALAGHI *et al.*, 2008). En effet, il est généralement admis que les données météorologiques permettent d'améliorer significativement les prévisions sur base du NDVI (MKHABELA *et al.*, 2001). La plupart de ces études mentionnent concluent que les prévisions des rendements sont efficaces, à partir de deux mois avant les récoltes, (voir par ex. MKHABELA *et al.*, 2001).

Le cadre IPC de la FAO considère également que les indices de végétation et de pluviométrie peuvent être utiles aux analyses menant à la classification de l'insécurité alimentaire, notamment en cas de manque de données directes. Dans ce contexte, les indices sont interprétés, selon leur impact potentiel sur les rendements et, dès lors, sur la sécurité alimentaire. Ainsi, l'IPC recommande de réaliser les profils NDVI et pluviométriques des zones étudiées, ainsi que de calculer le z-score, c'est-à-dire la déviation des valeurs courantes vis-à-vis de la moyenne (REMBOLD *et al.*, s.d.).

De façon similaire, le Cadre Harmonisé considère que les indices de végétation constituent une preuve pouvant être utilisée comme données indirectes pour la caractérisation du pilier de la

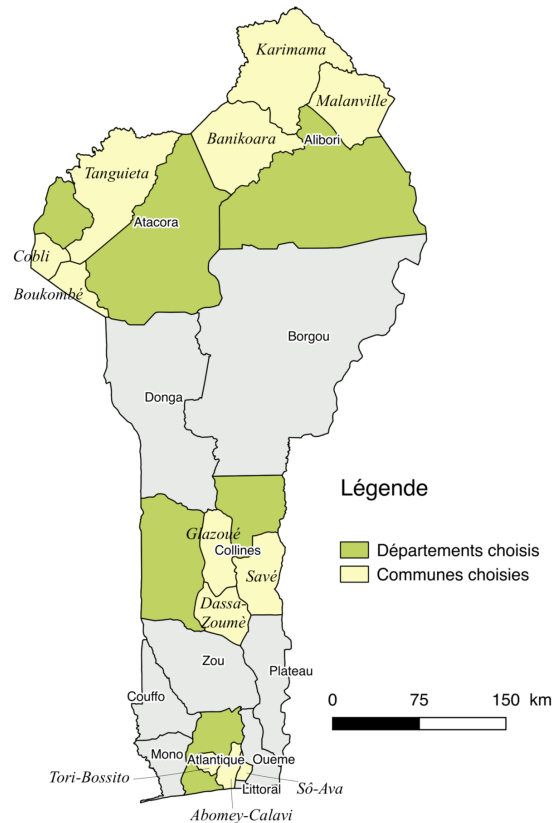
disponibilité alimentaire. En raison de la faiblesse des preuves directes recueillies par les experts du Cadre Harmonisé, au Bénin, ceux-ci sont constamment à la recherche de données indirectes pouvant servir à renforcer leurs analyses lacunaires. Pour cela, les indices de végétation et de pluviométrie constituent, pour eux, une opportunité, d'autant que le Manuel 2.0 du Cadre Harmonisé, à paraître, accordera plus d'importance à ces indices qu'il ne le faisait auparavant.

Au sein du Cadre Harmonisé, les indices de végétation et de pluviométrie sont perçus comme devant servir à évaluer les impacts positifs ou négatifs potentiels sur la production agricole et, dès lors, sur la sécurité alimentaire de la zone concernée. Les indices doivent donc être facilement interprétables en ce sens. Pour cela, dans ce chapitre, nous tenterons d'identifier d'éventuelles corrélations entre les indices de végétation et d'estimations des pluies, dont l'emploi est préconisé par le Manuel 2.0 du Cadre Harmonisé, et les rendements de maïs et du manioc au sein de douze communes béninoises. L'objectif est d'estimer s'il existe une corrélation suffisante pour permettre une utilisation simple de ces indices au sein des analyses Cadre Harmonisé.

II. MÉTHODOLOGIE DÉTAILLÉE

A. ZONE D'ÉTUDE ET CULTURES

Communes béninoises choisies pour la recherche d'une corrélation éventuelle entre les indices de végétation et les rendements du maïs et du manioc



Le choix des zones d'étude a principalement été guidé par le zonage climatique du Bénin, en veillant à choisir des communes à la fois littorales (Abomey-Calavi, Sô-Ava, Tori-Bossito) et centrales (Dassa-Zounmè, Glazoué, Savé) qui bénéficient de deux saisons des pluies, ainsi que des communes de l'Atacora (Boukombé, Coblé, Tanguéta) et à la lisière du Sahel (Banikoara, Karimama, Malanville). En effet, cette répartition géographique permet de couvrir presque l'entièreté du pays et de vérifier si la relation entre la production de maïs et de manioc et les indices de végétation varie selon la situation géographique et climatique.

L'Atlantique est l'un des plus petits départements du Bénin. D'une superficie de 3 233 km², l'Atlantique se présente comme une région de lagunes et de lacs, propice autant à la pêche qu'à l'agriculture grâce à ses sols alluviaux. Les cultures de maïs et de manioc y occupent

environ 80% des surfaces agricoles. Son climat est subéquatorial, marqué par quatre saisons (deux saisons des pluies et deux saisons sèches) (GBAGUIDI, 2004). Les activités de pêche, bien qu'artisanales, y sont fortement développées et la production végétale, pratiquée sur des espaces réduits, présente un profil diversifié (céréales, maraîchage, tubercules, palmiers à huile, etc.). Quant aux sols sableux, ils sont mis à profit pour les plantations de cocotiers et de bois de filao (PNUD, 2015, p. 58).

D'une superficie de 13 931 km², le département des **Collines** se situe dans une zone de transition entre les deux grandes régions climatiques du Bénin, bien qu'il conserve les quatre saisons propres au climat subéquatorial (MINISTERE DE LA DECENTRALISATION ET DE LA GOUVERNANCE LOCALE, s.d.), avec une pluviométrie moyenne allant de 1 000 à 1 400mm par an. Le département des Collines appartient à la vaste zone cotonnière du Centre-Bénin mais constitue également une zone importante de production de riz, ainsi que de maïs et de manioc (PNUD, 2015, p. 57).

Région au relief accidenté, le département de l'**Atacora** présente une superficie de 20 499 km². La pression anthropique sur les terres de cultures et l'érosion y entraînent un phénomène important de dégradation des sols qui tend à rendre les terres infertiles. 72% des ménages y identifient d'ailleurs l'infertilité des terres comme un obstacle à l'agriculture (INSAE, 2018). Le climat, de type soudanien, est caractérisé par deux grandes saisons (sèche et humide) (MINISTERE DE LA DECENTRALISATION ET DE LA GOUVERNANCE LOCALE, s.d.). Les précipitations oscillent entre 900 et 1 300mm par an, avec toutefois une variabilité importante quant à leur répartition géographique, entraînant des déficits importants dans certains endroits. La production vivrière y est particulièrement importante, tandis que le coton et les arachides y offrent des sources de revenus complémentaires (PNUD, 2015, p. 56).

A la lisière du Niger, avec qui il partage la réserve naturelle du Parc W, le département de l'**Alibori** affiche une superficie de 26 242 km². Proche du Sahel, le climat y est également de type soudanien, marqué par une saison des pluies et une saison sèche (MINISTERE DE LA DECENTRALISATION ET DE LA GOUVERNANCE LOCALE, s.d.). Les précipitations présentent une moyenne annuelle d'environ 750 mm mais les pluies parfois intenses sont régulièrement la cause d'inondations importantes. L'agriculture y est la source de revenus majeure : on y cultive à la fois des céréales, des plantes maraîchères et des cultures de rente, comme le coton ou encore l'arachide. La pêche est également répandue, autour du fleuve Niger (PNUD, 2015, p. 54 – 55).

Quant aux cultures retenues, le choix n'a pas eu à être guidé par la profondeur des données statistiques disponibles, dans la mesure où les données de rendements agricoles du maïs et du manioc sont disponibles de manière uniforme pour toutes les communes. Le choix des cultures a donc été guidé par la présence généralisée de ces cultures au sein des communes envisagées et leur importance au sein du système agricole béninois.

B. INDICATEURS ET SATELLITES

Lorsqu'elles sont soumises à un traitement numérique, les images satellites fournissent des indices mathématiques utiles au suivi environnemental (MEERA, *et al.*, 2015, p. 1200). Ces indices de végétation sont issus de calculs basés sur la réflectance électromagnétique de la végétation, elle-même captée par les senseurs passifs⁴ des satellites. Cette réflectance varie selon les types de plante mais également d'autres qualités intrinsèques à la végétation, comme sa teneur en eau ou sa couleur. En effet, la réflectance est fonction des caractéristiques chimiques et morphologiques que présente la surface foliaire des plantes (XUE & SU, 2017, p. 2). Le NDVI se calcule selon une formule prenant en considération la réflectance dans la bande spectrale du rouge et du proche infrarouge (PIR) (JACOBS, *et al.*, 2018, p. 17) :

$$NDVI = \frac{PIR - Rouge}{PIR + Rouge}$$

Dès lors, les valeurs du NDVI varient selon : l'absorption du rouge par la plante et la réflexion du Proche Infrarouge qui est conditionnée par la quantité d'eau présente dans les cellules foliaires (MEERA, *et al.*, 2015, p. 1203).

Parmi les indices de végétation existants, le NDVI reste l'indicateur le plus communément employé, en raison notamment de sa facilité d'interprétation. En effet, le NDVI permet d'obtenir une indication simple concernant la densité de la végétation et la quantité de biomasse (HOUNTONDI *et al.*, 2005). En cela, le NDVI est amené à jouer un rôle central dans les Systèmes d'Alerte Précoce dont l'objectif est d'identifier les anomalies dans le développement de la végétation (ASOKA & MISHRA, 2015, p. 5290).

⁴ Un capteur est dit « passif », lorsqu'il enregistre le rayonnement naturel qu'un objet émet ou réfléchi, suite à l'éclairement reçu par le soleil. Au contraire, un capteur actif émet lui-même de l'énergie vers l'objet, afin de mesurer ensuite le signal que la cible lui renvoie (BONNET, *et al.*, 2011, p. 46).

Les images satellites employées, au sein de ce travail, sont issues de la base de données COPERNICUS, le deuxième plus grand programme spatial lancé par l'Union Européenne, après Galileo. L'objectif principal de COPERNICUS est de fournir des produits utiles aux politiques environnementales et basées sur des connaissances scientifiques mutualisées entre les différents pays de l'Union européenne.

Les images proviennent de deux programmes : SPOT-VEGETATION et PROBA-V. Le Programme VEGETATION repose sur deux satellites, lancés en 1998 et 2002, ayant permis de fournir des images sur une période allant du 21 avril 1998 au 31 mai 2014. La couverture de ces satellites était presque journalière⁵, pour une résolution spatiale de 1 km. L'objectif principal de ces programmes étaient de fournir des données utiles à l'agriculture, au pastoralisme et au suivi forestier (WOLTERS, *et al.*, 2016, p. 40). Ces instruments, embarqués au sein des satellites SPOT-4 et SPOT-5, permettaient d'enregistrer les bandes spectrales suivantes :

Bandes spectrales couvertes par les senseurs VGT-1 et VGT-2

Spectral band	VGT1 [μm]	VGT2 [μm]	Surface reflectance range [-]
BLUE (B0)	0.437 - 0.480 (0.459)	0.439 - 0.476 (0.458)	0.0 – 0.5
RED (B2)	0.615 - 0.700 (0.658)	0.616 - 0.690 (0.653)	0.0 – 0.5
NIR (B3)	0.773 - 0.894 (0.834)	0.783 - 0.892 (0.838)	0.0 – 0.7
SWIR (MIR)	1.603 - 1.695 (1.649)	1.584 - 1.685 (1.635)	0.0 – 0.6

Figure 8 - Bandes spectrales des senseurs VGT-1 et VGT-2 (WOLTERS *et al.*, 2016)

En outre, les images subissaient également un traitement visant à leur appliquer une correction géométrique, radiométrique, à attribuer un label de qualité aux pixels, à réaliser des corrections atmosphériques et à synthétiser les différentes images afin d'en produire une image unique et globale (WOLTERS, *et al.*, 2016, p. 47 - 55).

Quant au satellite PROBA-V, il a été lancé en 2013 avec pour mission d'assurer la continuité des mesures entre les satellites SPOT-VGT et les satellites SENTINEL-3. Originellement prévue pour durer deux ans et demi, la mission est actuellement prolongée jusqu'en octobre 2019. Tout comme les satellites SPOT-4 et -5, PROBA-V embarque un instrument VEGETATION qui couvre également environ 90% de la surface terrestre de manière journalière et 100% tous les deux

⁵ 90% des zones équatoriales sont couvertes de manière journalière, tandis que les 10% restant le sont tous les deux jours (WOLTERS, *et al.*, 2016, p. 43).

jours, tout en enregistrant les mêmes bandes spectrales que celles précédemment citées (WOLTERS, *et al.*, 2018, p. 14). Les traitements appliqués aux images sont également similaires à ceux appliqués aux images SPOT.

COPERNICUS met le NDVI à disposition sous la forme d'une synthèse sélectionnant les meilleures mesures disponibles par périodes de dix jours, de façon à réduire l'effet des variations atmosphériques, telles que les nuages (JACOBS, *et al.*, 2018, p. 17). Cette synthèse décadaire permet de ne pas interpréter des changements de valeurs du NDVI comme des changements d'état de la végétation, alors que ceux-ci ne sont dus, en réalité, qu'à des perturbations atmosphériques (KOGAN, 2019, p. 30). Les images produites ont également subi une reclassification des pixels mal classés, tels que les pixels figurant de l'eau. Enfin, il faut noter qu'il n'existe pas de calibration entre les images SPOT-VGT et PROBA-V, entraînant des différences de NDVI de quelques pourcents entre ces deux types d'images (JACOBS, *et al.*, 2018, p. 20).

Du côté de ses points faibles, le NDVI se montre sensible à de nombreux facteurs, tels que la brillance du sol et sa couleur, la présence de nuages et la densité élevée de la canopée qui peut entraîner un effet de saturation (XUE & SU, 2017, p. 3). En outre, il existe un *hiatus* entre les épisodes de précipitations, ou de sécheresse, et leurs effets sur la valeur du NDVI (SRINIVASAN, 2007, p. 10).

Le VCI, quant à lui, a été proposé par F. Kogan et permet une comparaison entre le NDVI courant et ses minimum et maximum historiques. Pour Kogan, la valeur minimale du NDVI est déterminée par la disponibilité en eau et en ressources naturelles, tandis que la valeur maximale est plutôt conditionnée par le climat (PETERS *et al.*, 2002, p. 72). Le VCI se révèle particulièrement efficace dans des conditions de sécheresse (YANG, *et al.*, 2011, p. 3534). En outre, il permet d'isoler les tendances climatiques à long terme pour mettre en évidence les événements ponctuels. En cela, il est un bon indicateur du stress hydrique rencontré par la végétation (VOGT *et al.*, 1998, p. 3). Enfin, le VCI se révèle capable de saisir les particularités du milieu, contrairement au NDVI qui identifie peu la productivité propre aux écosystèmes. Ainsi, par exemple, les zones tropicales manifestent toujours des valeurs élevées du NDVI, même en période de sécheresse, par un phénomène de saturation (SRINIVASAN, 2007, p. 11). Le VCI s'obtient selon la formule ci-dessous :

$$VCI = \frac{(NDVI - \min)}{(Max - \min)} \times 100$$

La valeur obtenue indique à quel point le NDVI courant se rapproche de la valeur minimale (0%) ou maximale (100%) enregistrée à la même période, durant la période historique envisagée. On considère, généralement, qu'une valeur comprise entre 60% et 100% manifeste des conditions de végétation favorables (KOGAN, 1990).

L'indice de Croissance Normalisé (ICN) procède d'une logique similaire, à l'exception du fait que le NDVI maximum et minimum sont calculés sur l'ensemble de la saison de culture. Tout comme le VCI, l'ICN s'exprime en pourcentages et indique la proximité du NDVI courant avec les valeurs minimales (0%) ou maximales (100%) historique de la saison des pluies. Selon la méthode de référence, l'ICN est calculé sur la période allant de mai à octobre (KOGAN, 1990).

L'indice d'estimation des pluies (*Rainfall Estimates*), le RFE, provient d'un traitement automatique des images générées par les satellites américains NOAA. Les images contenant les estimations de précipitations ont une résolution spatiale de 8km et sont disponibles tous les dix jours. L'estimation des pluies provient d'un algorithme basé, principalement, sur la température du sommet des nuages (FEWSNET, s. d.).

Les séries temporelles disponibles, pour chacun de ces indices, étant variable, le tableau suivant offre un résumé de périodes couvertes par l'analyse :

Séries temporelles utilisées pour les différents indicateurs de végétation et de pluviométrie

Indices	Série temporelle
NDVI	1998 - 2017 ⁶
VCI	2000 - 2017
ICN	1999 – 2017
RFE	2001 - 2017

⁶ La série temporelle s'arrête en 2017, en raison des statistiques agricoles utilisées qui, elles, sont disponibles jusqu'en 2016. Le logiciel CGMS Statistical Tool requiert que les variables soient disponibles pour l'année cible pour laquelle les rendements seront calculés, en l'occurrence l'année 2017 pour laquelle nous n'avons pas de statistiques agricoles.

C. AUTRES DONNÉES UTILES

L'analyse des indices de végétation étant liée à la saison de cultures, nous disposons également du calendrier agricole du Nord et du Sud du Bénin qui sert de référence aux experts béninois du Cadre Harmonisé :

Calendrier climatique, agricole et périodes du soudure au Bénin

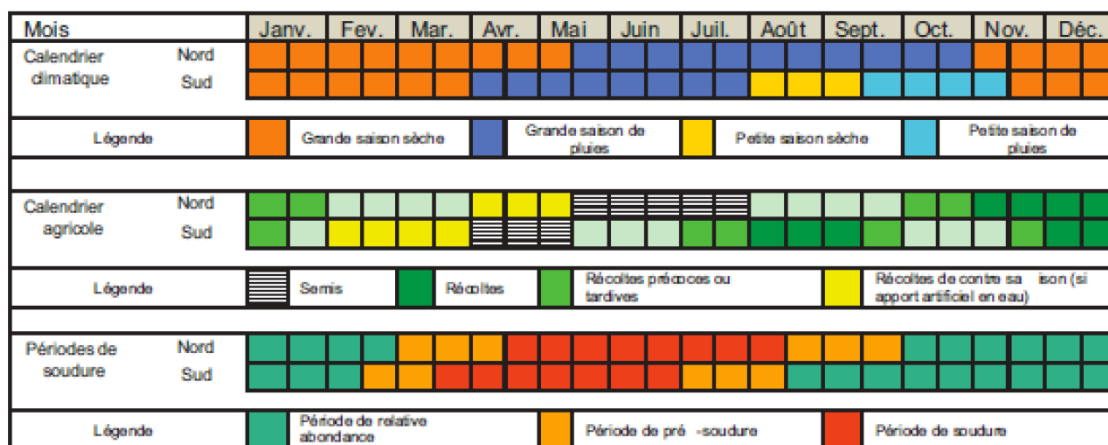


Figure 9 - Calendrier climatique, agricole et périodes de soudure au Bénin (AGVSA, 2013)

De plus, afin de parvenir à extraire les valeurs moyennes des indices de végétation par communes, qui est le niveau administratif imposé par le Cadre Harmonisé, un fichier shapefile des frontières administratives du Bénin nous a été fourni par les experts nationaux du Cadre Harmonisé.

De manière à isoler les zones de cultures, nous avons également eu recours à une image reprenant les principales couvertures du sol, émise par l'agence Spatiale Européenne (*Landcover* version 2.0.7). L'image comprend une vingtaine de classes, dont nous avons retenu celle correspondant aux cultures non irriguées.

A côté des indicateurs de végétation, notre recherche ne peut s'effectuer qu'en disposant de données historiques des rendements agricoles des communes choisies. Ces données sont disponibles pour la période allant de 1998 à 2016, au sein de la base de données de l'Institut National de Statistiques (INSAE). Il s'agit de donnée vérifiées, présentées par commune et pas culture (voir annexes).

D. LOGICIELS UTILISÉS

Le principal outil utilisé, dans la réalisation de cette recherche, est le logiciel européen SPIRITS dont l'objectif principal est le traitement de série temporelles d'images satellites à basse résolution (SPOT, NOAA, etc.). Les principales fonctionnalités permises par SPIRITS regroupent le traitement des images (redimensionnement, masquage, extraction d'indicateurs, détection d'anomalies, etc.) et leur analyse (création de cartes, analyses graphiques, etc.) (EERENS & HAESSEN, 2018, p. 9).

Le second outil utilisé est CGMS Statistical Tool qui a pour objectif la prévision des rendements agricoles, sur base de l'élaboration de modèles basés sur des régressions linéaires ou multiples. En effet, le logiciel permet de mettre en relation les statistiques de production historiques d'une culture particulière avec une série de facteurs potentiellement explicatifs, importés par l'utilisateur au sein du logiciel (GOEDHART *et al.*, 2019, p. 12).

De manière plus anecdotique, les logiciels Envi 5.0 et QGIS 3.6 ont également été utilisés, ponctuellement, pour la visualisation des images satellites, la réalisation de cartes et la mise en page de certains résultats.

III. TRAITEMENT DES IMAGES

A. PRÉPARATION DU LOGICIEL ET DES IMAGES

Le traitement des images satellites nécessite, au préalable, une configuration du logiciel SPIRITS, visant à compléter les informations qui serviront de base aux opérations réalisées. Les premières étapes consistent donc à fournir au logiciel la liste des capteurs, des variables qui seront analysées et les frontières administratives de la zone étudiée.

Le masque *landcover* a également été renseigné, de façon à isoler la classe correspondant aux cultures non irriguées. Celui-ci ayant une résolution de 300 mètres, la fonction « *resampling* » de SPIRITS a été mise à profit, afin de réduire sa résolution de manière à ce que celle-ci corresponde à la résolution des images NDVI (1 kilomètre). La même opération a été entreprise pour créer un masque correspondant à la résolution des images RFE, à savoir 8 kilomètres.

Par ailleurs, le logiciel SPIRITS travaillant avec des images au format .IMG, les différentes images téléchargées au format .TIF ont été converties au format adéquat, grâce à l'outil d'importation. En outre, l'outil de reprojection a également été employé, afin d'assigner à toutes les images la projection Mercator WGS-84.

Enfin, étant donné l'ampleur des images qui couvraient l'Afrique entière, une opération de découpage (« *extract ROI* ») a permis de conserver uniquement la zone correspondant au Bénin. Cette étape, facultative, a pour avantage de réduire la taille des images et de les rendre plus facilement gérables par le logiciel.

A. CALCUL DES INDICATEUR VCI ET ICN

Les images des indicateurs VCI et ICN utilisées, dans ce travail, ont été fournies par Mr. Bakary Djaby, à l'occasion d'un stage au sein du Programme européen d'Appui au Développement Durable du Secteur Agricole. Cependant, ces indicateurs sont également facilement calculables grâce au logiciel SPIRITS.

La méthode employée, pour le calcul du VCI, est celle mise en application par VITO (SMETS *et al.*, 2015) pour le projet COPERNICUS. La première étape consiste à produire des statistiques à long terme, c'est-à-dire des images reprenant, pour chaque décennie, les valeurs minimales et maximales du sNDVI au cours de la période historique retenue. Enfin, les images historiques sont confrontées au sNDVI courant, décennie par décennie, grâce à l'outil « *Anomalies* » du logiciel SPIRITS et selon la formule mathématique exprimée précédemment.

Le calcul de l'ICN est similaire, à l'exception du fait que les images historiques générées reprennent le minimum et le maximum observés durant l'entièreté de la période de cultures (mai à septembre, selon la méthode mise au point par F. KOGAN). Pour réaliser cette opération sur SPIRITS, il est d'abord nécessaire d'extraire les valeurs sNDVI minimales et maximales, pour chacune des années et durant la période de cultures (« *Time statistics* »). Ensuite, des statistiques à long terme sont calculées, permettant d'obtenir ces mêmes valeurs mais pour l'entièreté de la période historique. Enfin, comme précédemment, ces images de références sont confrontées au sNDVI courant de chaque année, décennie par décennie, en appliquant la même formule que pour le VCI.

B. EXTRACTION DES VALEURS MOYENNES DES INDICATEURS PAR COMMUNES ET COUVERTURE DU SOL

Les indices de végétation et d'estimation des pluies se présentent sous la forme d'images du Bénin, dont chaque pixel correspond à la valeur revêtue par ces indices, à chaque décade. De façon à pouvoir appliquer un traitement statistiques à ces valeurs, il est nécessaire de les extraire en un format compatible avec le logiciel CGMS Statistical Tool. SPIRITS offre la possibilité d'extraire ces valeurs, sous la forme de fichier .RUM. L'intérêt de cet outil est de proposer une synthèse des valeurs des indices de végétation, afin de les obtenir non plus pixel par pixel mais commune par commune. Cette opération permet d'obtenir des valeurs d'indices qui seront compatibles avec la forme revêtue par les statistiques des rendements agricoles qui se déclinent, eux aussi, par communes. En outre, le logiciel SPIRITS, lors de cette opération, applique également le masque *landcover* que nous lui avons indiqué, de façon à isoler les pixels appartenant aux zones de cultures. Les valeurs contenues dans les fichiers .RUM se déclinent donc par décade, par commune et pour la couverture du sol choisie.

C. IMPORTATION DES INDICATEURS DE VÉGÉTATION DANS CGMS STATISTICAL TOOL

Les fichiers .RUM générés par SPIRITS sont directement compatibles avec le logiciel CGMS Statistical Tool qui propose un outil d'importation de ces fichiers. Pour fonctionner, le logiciel a également besoin d'une base de données, reprenant les statistiques agricoles de la culture envisagée, commune par commune et année par année. Cette base de données a été préalablement réalisée grâce à Microsoft Access et importée dans CGMS Statistical Tool.

Lorsque toutes les données nécessaires ont été importées, le logiciel CGMS Statistical Tool peut alors être employé pour tenter d'identifier d'éventuelles corrélations entre les indices de végétation et de pluviométrie et les rendements agricoles de maïs et de manioc au cours du temps. En effet, le logiciel permet, dans un premier temps, d'évaluer l'existence d'une tendance au sein des rendements agricoles, pouvant être dus autant à des améliorations techniques qu'à une amélioration des connaissances agronomiques, etc. Ensuite, le logiciel permet à l'utilisateur de tester

d'éventuelles corrélations entre un facteur potentiellement explicatif de son choix et la production agricole (régression linéaire) ou une combinaison de ceux-ci (régression multiple).

Le logiciel CGMS Statistical Tool affiche les résultats, dans un premier temps, sous la forme d'un tableau reprenant notamment les variables testées, le R^2 , le *Root Mean Square Error* (RMSE) et l'estimation des rendements pour l'année cible selon la corrélation établie. Le R^2 exprime le coefficient de détermination d'une régression, c'est-à-dire la qualité de la prédiction d'une régression linéaire ou multiple. Le logiciel CGMS Statistical Tool détermine, pour chaque régression, un coefficient R^2 entre 0 et 100. Plus le coefficient s'approche de 100, plus la régression est pertinente. Quant au RMSE, il mesure l'erreur possible entre la valeur prédite et la valeur observée. Dans le cas des prévisions de rendements, le RMSE donne une indication de l'écart possible entre la valeur prédite par le logiciel et la valeur réelle des rendements pour l'année cible. La prévision des rendements en tant que telle ne nous intéressant pas particulièrement, étant donné l'objectif de notre recherche, elle ne sera pas reprise dans les tableaux de résultats ci-dessous. En revanche, nous chercherons à identifier les régressions linéaires et multiples permettant d'obtenir le meilleur R^2 et le plus faible RMSE. **Nous considérerons qu'une régression apporte un résultat satisfaisant lorsque le R^2 est supérieur à 60 et le RMSE inférieur à 20% des rendements prédits par le modèle.**

IV. RÉSULTATS

A. CORRÉLATIONS AVEC LE sNDVI (1998-2016)

La première variable testée est le sNDVI. Les tableaux ci-dessous reprennent les résultats obtenus, pour les communes du Sud et du Nord du Bénin. Chacun d'entre eux énonce le nom de la commune, la culture concernée, la décennie de la fin de saison, la tendance⁷ observée si elle existe, les R^2 de la corrélation avec et sans variable, ainsi que le RMSE de la corrélation avec et sans variable. En outre, la dernière colonne mentionne si le RMSE de la régression se situe ou non en dessous des 20% des rendements prédits. Les RMSE et les R^2 les plus satisfaisants ont été soulignés en vert. Lorsque la corrélation ne parvient pas à remplir les conditions énoncées précédemment, les résultats sont soulignés en orange.

⁷ Le Logiciel CGMS Statistical Tool propose une analyse des données permettant de déceler une éventuelle tendance (linéaire ou quadratique) au sein des données de rendements agricoles, de manière à isoler, par exemple, une augmentation progressive des rendements qui serait due à des améliorations techniques, etc.

**IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE LE sNDVI ET LES RENDEMENTS
DU MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU SUD ET CENTRE-BÉNIN (1998-2016)**

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans	R ²	RMSE	RMSE	RMSE
				variable	sNDVI	sans	sNDVI	< 20%
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	50,10	293,88	348,42	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	34,78	4968,16	5419,68	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	12,74	738,11	746,07	Non
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	78,44	4643,58	4635,88	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	2,85	151,42	157,39	Oui
	Manioc	25	/	0	8,20	6439,66	6818,80	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	11,33	138,91	141,61	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	66,32	2670,08	2996,91	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	2,40	152,66	164,13	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	33,31	4102,75	4630,69	Non
Savè	Maïs	25	/	0	17,54	91,33	90,78	Oui
	Manioc	25	/	0	2,60	5020,99	5418,66	Non

Figure 10 - Identification des corrélations linéaires entre le sNDVI et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Sud et Centre-Bénin (1998-2016)

**IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE LE sNDVI ET LES RENDEMENTS
DU MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU NORD-BÉNIN (1998-2016)**

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² sNDVI	RMSE sans variable	RMSE sNDVI	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	80,83	183,60	194,14	Oui
	Manioc	31	/	0	1,95	492,68	501,20	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	1,62	368,84	379,70	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	42,86	2062,20	2052,38	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	1,90	291,21	305,09	Non
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	51,53	1633,78	1759,74	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	34,79	217,94	230,56	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	33,79	2785,61	3010,99	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	54,24	177,53	187,26	Oui
	Manioc	31	/	0	0,01	4601,27	4827,75	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	50,51	204,33	223,96	Oui
	Manioc	31	/	0	2,07	2929,82	3027,82	Non

Figure 11 - Identification des corrélations linéaires entre le sNDVI et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (1998-2016)

Selon nos résultats, le sNDVI n'apparaît pas comme une variable suffisamment explicative des variations des rendements agricoles du maïs et du manioc, dans les douze communes testées. En effet, dans les deux cas où la régression linéaire parvient à remplir toutes les conditions exposées précédemment, le sNDVI ne fournit le meilleur RMSE qu'une seule fois, pour le manioc à Sô-Ava. Cependant, l'amélioration permise par le recours au sNDVI, dans ce cas-là, reste très faible, en comparaison avec les résultats obtenus en suivant la tendance quadratique et qui permettent, eux aussi, de remplir toutes les conditions. Dans l'autre cas, à Boukombé, c'est la tendance qui se révèle plus efficace pour la prévision des rendements.

Les résultats obtenus sont peu surprenants, dans la mesure où le NDVI offre souvent une faible variabilité interannuelle, en fin de saison, principalement en ce qui concerne les communes

du Nord du pays. Le graphique ci-dessous illustre l'évolution annuelle du sNDVI, au cours des années 2010 à 2018, pour la commune de Tanguiéta (Atacora). Si le sNDVI présente des profils variés, durant la période de croissance de la végétation, ceux-ci tendent à se rejoindre, en fin de saison, à des valeurs oscillant entre 0,65 et 0,7.

Évolution du sNDVI des zones de cultures au cours de l'année (Tanguiéta, 2010-2018)

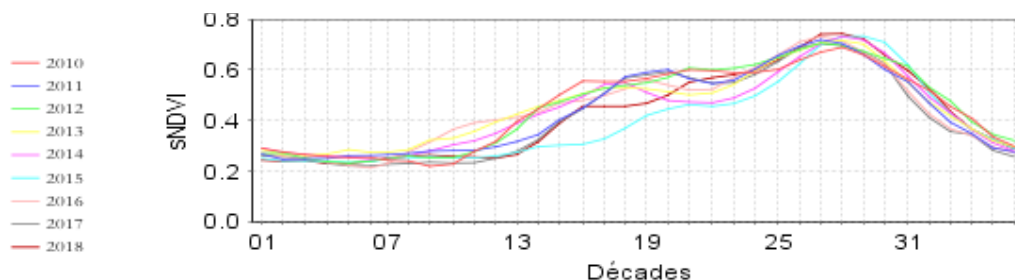


Figure 12 - Évolution du sNDVI des zones de cultures au cours de l'année (Tanguiéta, 2010-2018)

De manière à rendre compte de cette variabilité des profils, durant la croissance de la végétation, nous avons également utilisé l'outil « *time statistics* » de SPIRITS, afin de générer des variables secondaires sur base du sNDVI.

VARIABLES SECONDAIRES GÉNÉRÉES PAR SPIRITS

Abréviation	Variable
VAV	Valeur moyenne au cours de la saison
VMN	Valeur minimale au cours du de la saison
VMX	Valeur maximale au cours de la saison
AUP	Augmentation la plus grande entre deux périodes subséquentes
ADN	Diminution la plus grande entre deux périodes subséquentes
RSD	Déviatiion standard
RRG	Étendue relative
DMN	Date relative du premier VMN
DMX	Date relative du dernier VMX
DUP	Date relative du premier AUP
DDN	Date relative du dernier ADN

Figure 13 - Variables secondaires générées par SPIRITS

De manière similaire au sNDVI, ces variables ont ensuite été testées, afin d'identifier une corrélation éventuelle avec les statistiques agricoles. Les résultats détaillés sont présentés en annexes. A première vue, certaines variables secondaires permettent, comme dans les exemples ci-dessous, d'améliorer la prévision des rendements, par une réduction non négligeable du RMSE :

**EXEMPLES D'AMÉLIORATIONS DE LA PRÉVISION DES RENDEMENTS PERMISES PAR LES
VARIABLES SECONDAIRES DU sNDVI**

Communes	Variable	Culture	Trend	RMSE sans variable	RMSE avec variable	Réduction du RMSE constatée	RMSE < 20%
Sô-Ava	AUP	Maïs	/	738,11	561,41	-176,70	Non
Sô-Ava	DDN	Maïs	/	738,11	582,03	-156,08	Non
Savè	DMX	Maïs	/	91,33	62,92	-28,41	Oui

Figure 14 - Exemples d'améliorations de la prévision des rendements permises par les variables secondaires du sNDVI

Cependant, malgré les améliorations, les variables identifiées pour le maïs à Sô-Ava ne permettent pas de répondre à la condition du RMSE inférieur à 20%. Pour Savè, l'amélioration du RMSE est satisfaisante, compte tenu des faibles rendements. Cependant, le modèle sans variable parvenait déjà à remplir la condition du RMSE inférieur aux 20%.

De manière plus globale, les variables secondaires parviennent difficilement à améliorer les modèles de prévision des rendements. En effet, la majorité des modèles identifiés qui permettent d'obtenir un RMSE inférieur à 20% des rendements sont obtenus sans le recours à aucune variable. Chacune des variables secondaires ne parvient à fournir une régression linéaire remplissant toutes les conditions précitées que dans 2 à 3 communes, en moyenne.

Afin d'approfondir encore l'analyse, le logiciel CGMS Statistical Tool a également été sollicité pour produire des modèles de prédiction des rendements sur base d'une régression multiple. Contrairement à la régression linéaire, réalisée précédemment, qui teste la corrélation de chacune des variables avec les rendements agricoles, la régression multiple associe les variables entre elles

pour créer des modèles plus complexes. Les modèles les plus efficaces, pour les communes du Nord et du Sud, sont repris dans les tableaux⁸ ci-dessous. Les RMSE des différents modèles y sont également comparés avec les RMSE des régressions sans variable et des régressions avec le sNDVI.

**MODÈLES DE PRÉVISION DES RENDEMENTS SUR BASE DES VARIABLES ISSUES DU sNDVI
(NORD-BÉNIN)**

Communes	Culture	Variables du modèle	R² du modèle	RMSE du modèle	RMSE sans variable	RMSE sNDVI seul	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	AUP + RSD + VAV	92,01	159,50	183,60	194,14	Oui
	Manioc	AUP + DMN + VAV + VMB	76,50	306,46	492,68	501,20	Oui
Cobli	Maïs	DDN	17,98	360,18	368,84	379,70	Non
	Manioc	sNDVI + AUP + VMX	57,76	1932,75	2062,20	2052,38	Non
Tanguiéta	Maïs	DDN + RSD + VAV	62,47	219,21	291,21	305,09	Oui
	Manioc	ADN + VAV + VMX	77,76	1478,93	1633,78	1759,74	Oui
Banikoara	Maïs	ADN + AUP + DMN + VMN	59,25	191,35	217,94	230,56	Oui
	Manioc	ADN + RSD	67,25	2094,40	2785,61	3010,99	Oui
Karimama	Maïs	/	55,47	184,14	184,14	187,26	Oui
	Manioc	ADN + RSD	32,23	4136,58	4601,27	4827,75	Non
Malanville	Maïs	/	49,86	204,33	204,33	223,96	Oui
	Manioc	ADN + DMX + DUP + VAV	55,51	2567,95	2929,82	3027,82	Non

Figure 15 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues du sNDVI (Nord-Bénin)

S'agissant des communes du Nord, la prédiction des rendements, basée uniquement sur le sNDVI, fournit globalement les moins bons résultats de toutes les régressions testées. En effet, nous avons déjà constaté que les prédictions basées sur les tendances se révélaient plus efficaces que le sNDVI. Cependant, les modèles alliant différentes variables fournissent, eux, les meilleurs

⁸ Les décades et les tendances, qui ont des valeurs fixes, ont volontairement été supprimées des tableaux suivants, de façon à clarifier l'information.

résultats possibles. Deux exceptions sont notables, puisqu'aucune régression multiple ne parvient, pour le maïs à Karimama et Malanville, à fournir de meilleurs résultats que la prévision sans aucune variable. Malgré cela, les régressions multiples sont susceptibles d'améliorer les résultats obtenus, en diminuant significativement la marge d'erreur. C'est notamment le cas pour le manioc, à Banikoara. En outre, cinq modèles sur douze remplissent toutes les conditions, tandis que huit modèles sur douze affichent un RMSE inférieur à 20%, bien que certains conservent un R² faible.

**MODÈLES DE PRÉVISION DES RENDEMENTS SUR BASE DES VARIABLES ISSUES DU sNDVI
(CENTRE ET SUD-BÉNIN)**

Communes	Cultures	Variables du modèle	R ²	RMSE du modèle	RMSE sans variable	RMSE sNDVI seul	RMSE < 20%
Abomey-Calavi	Maïs	ADN + VAV + VMX	69,90	270,36	293,88	348,42	Non
	Manioc	/	33,41	4968,16	4968,16	5419,68	Non
Sô-Ava	Maïs	ADN + AUP + DMX + DUP	79,28	445,17	738,11	746,07	Non
	Manioc	AUP + DMN + VAV	89,68	4347,02	4643,58	4635,88	Oui
Tori-Bossito	Maïs	AUP + DMX	33,89	132,79	151,42	157,39	Oui
	Manioc	/	0	6439,80	6439,66	6818,80	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	AUP + VAV + VMX	50,28	118,02	138,91	141,61	Oui
	Manioc	sNDVI + DMN + DMX	81,44	2419,12	2670,08	2996,91	Non
Glazoué	Maïs	sNDVI + DUP + VMN	34,44	148,39	152,66	164,13	Oui
	Manioc	sNDVI + DDN + DMX	71,50	3514,43	4102,75	4630,69	Non
Savè	Maïs	DMX	54,33	62,92	91,33	90,78	Oui
	Manioc	AUP	32,74	4297,21	5020,99	5418,66	Non

Figure 16 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues du sNDVI (Centre et Sud-Bénin)

Les résultats sont similaires pour les communes du Sud. En effet, on retrouve également deux communes (Abomey-Calavi et Tori-Bossito) dont les rendements du manioc semblent insensibles aux variables issues du sNDVI, quels que soient les modèles testés. En outre, les résultats des modèles sont également largement meilleurs que ceux fournis par le sNDVI seul. Cependant, contrairement aux communes du Nord, les résultats obtenus par les modèles multiples montrent

des différences moins importantes, en termes d'erreurs de prédiction, comparativement aux prédictions sans aucune variable, hormis pour le manioc à Glazoué et Savè. Du côté des variables, ADN et VAV sont les variables explicatives qui reviennent le plus souvent, au sein des modèles, au Nord comme au Sud.

En somme, s'agissant des régressions multiples, dix cas sur vingt-quatre présentent un R^2 supérieur à 60, dont six cas s'approchent ou dépassent les 80, tandis que douze modèles sur vingt-quatre permettent de réduire le RMSE à moins de 20% des rendements prédits. Les prévisions des rendements, sur base des variables dérivées du seul NDVI, présentent donc des résultats intéressants pour ces quelques communes. Cependant, les modèles remplissant toutes les conditions restent largement minoritaires. Enfin, les communes pour lesquelles les statistiques agricoles présentent une tendance linéaire ou quadratique sont les plus susceptibles de présenter de bons résultats, contrairement aux communes pour lesquelles aucune tendance n'a pu être identifiée.

B. CORRÉLATIONS AVEC LE VCI (2000-2016)

Le second indice de végétation à être testé est le VCI qui, pour rappel, positionne le NDVI courant, décade par décade, par rapport à sa valeur historique minimale (0%) et maximale (100%). La série temporelle du VCI dont nous disposons débute en 2000, elle est donc amputée de deux années, comparativement au sNDVI. Dès lors, les tendances identifiés, les R^2 et RMSE sans variable ne présenteront pas les mêmes valeurs que celles identifiés précédemment.

IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE LE VCI ET LES RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU CENTRE ET SUD-BÉNIN (2000-2016)

Communes	Culture	Décade	Trend	R^2 sans variable	R^2 VCI	RMSE sans variable	RMSE VCI	RMSE < 20%
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	70,51	215,24	231,84	Non
	Manioc	25	/	0	16,66	5895,36	5779,52	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	4,41	731,38	800,87	Non
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	80,08	4796,14	4885,15	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	1,23	155,32	212,66	Oui
	Manioc	25	/	0	2,52	6527,03	6589,31	Non
Dassa-Zoumè	Maïs	25	/	0	17,15	143,44	148,75	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	66,97	2623,20	2849,56	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	6,17	156,07	172,21	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	30,74	4238,63	4505,74	Non
Savè	Maïs	25	/	0	3,74	88,25	90,28	Oui
	Manioc	25	/	0	11,98	5175,23	5663,37	Non

Figure 17 - Identification des corrélations linéaires entre le VCI et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Centre et Sud-Bénin (2000-2016)

Les tests effectués à partir de l'indicateur VCI se comportent, *grosso modo*, de la même manière que ceux avec le sNDVI. Les prévisions basées sur les tendances sont plus efficaces que les prévisions basées sur le VCI, y compris lorsque le R^2 de la régression linéaire avec le VCI est supérieur au R^2 de la prévision sans variable. Ainsi, dans l'unique cas où la régression remplit toutes

les conditions, on constate à nouveau que la prévision sur base de la tendance quadratique est meilleure que celle sur base du VCI. Pour autant, les prévisions basées uniquement sur les tendances ne sont pas satisfaisantes dans tous les cas. En effet, dans le cas du manioc à Savè, par exemple, l'erreur de prédiction équivaut à la moitié de la moyenne des rendements annuels.

IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE LE VCI ET LES RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU NORD-BÉNIN (2000-2016)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² VCI	RMSE sans variable	RMSE VCI	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	80,18	191,47	199,63	Oui
	Manioc	31	/	0	9,24	394,29	388,25	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	0,15	377,60	398,81	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	44,32	2051,27	2097,71	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,91	299,72	312,46	Non
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	48,67	1719,69	1902,59	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	11,43	245,10	239,46	Oui
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	31,18	2884,65	3077,61	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	57,90	173,62	179,76	Oui
	Manioc	31	/	0	0,68	4742,72	4959,29	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	49,71	209,91	221,12	Oui
	Manioc	31	/	0	0,07	2958,96	3143,63	Non

Figure 18 - Identification des corrélations linéaires entre le VCI et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (2000-2016)

Les communes du Nord-Bénin ne présentent pas de meilleurs résultats. En effet, une seule régression permet de remplir toutes les conditions mais, à nouveau, la prévision sans variable reste la meilleure. Le VCI offre une meilleure prévision dans deux cas, avec un RMSE inférieur à 20% mais un R² très faible (<12).

Contrairement au sNDVI, le VCI présente des profils saisonniers variables. Le graphique ci-dessous reprend l'évolution annuelle du VCI, entre 2010 et 2017, pour les cultures de la commune d'Abomey-Calavi. Les quatre saisons apparaissent de manière moins marquée que dans l'exemple précédent qui présentait l'évolution annuelle du sNDVI à Tanguiéta mais elles restent néanmoins identifiables. Le VCI semble, à première vue, plus facilement interprétable que le sNDVI, dans la mesure où les anomalies apparaissent avec beaucoup plus de contraste. Ainsi, par exemple, l'année 2010 est marquée par un impressionnant pic du VCI, entre les décades 19 et 24.

ÉVOLUTION ANNUELLE DU VCI À ABOMEY-CALAVI (2010-2017)

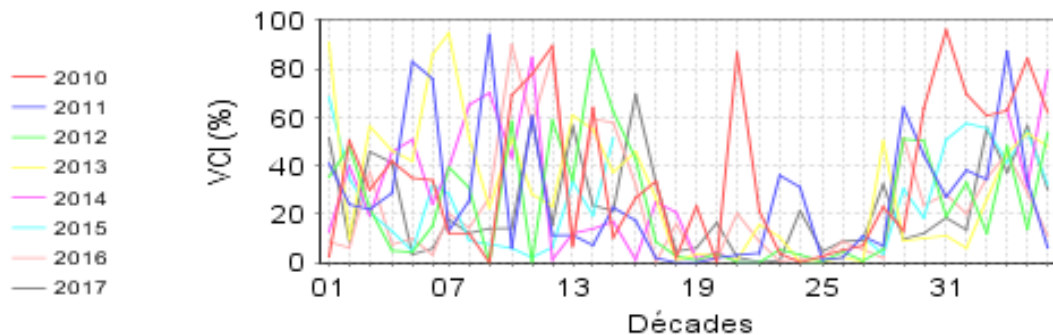


Figure 19 - Évolution annuelle du VCI à Abomey-Calavi (2010-2017)

L'interprétation est moins aisée, concernant Malanville, dans l'exemple ci-dessous. Il y devient beaucoup plus complexe non seulement de distinguer les deux saisons mais également les éventuelles anomalies.

ÉVOLUTION ANNUELLE DU VCI À MALANVILLE (2010-2017)

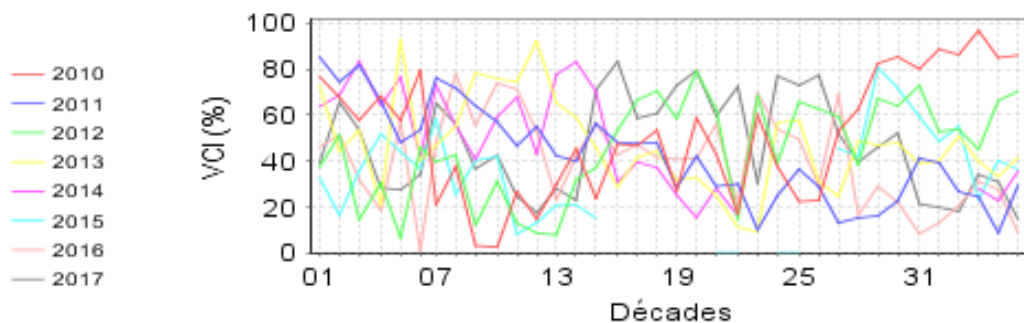


Figure 20 - Évolution annuelle du VCI à Malanville (2010-2017)

Comme pour le sNDVI, nous avons procédé à l'extraction de variables secondaires pour le VCI et réalisé des tests sur chacune d'entre elles. Les résultats détaillés sont disponibles en annexes. Les variables secondaires issues du VCI se révèlent plus efficaces pour les communes du Nord du pays, avec dix cas remplissant toutes les conditions contre un cas pour le Sud. Néanmoins, ces

résultats restent très faibles, étant donné le nombre de variables testées. Malgré tout, certaines communes bénéficient d'une réduction importante du RMSE, grâce aux variables du VCI :

EXEMPLES D'AMÉLIORATIONS DE LA PRÉVISION DES RENDEMENTS PERMISES PAR LES VARIABLES SECONDAIRES DU VCI

Communes	Variable	Culture	Trend	RMSE sans variable	RMSE avec variable	Réduction du RMSE constatée	RMSE < 20%
Tanguiéta	ADN	Manioc	Quadratique (2000 – 2016)	1719,69	1124,28	-595,41	Oui
Dassa-Zoumè	AUP	Manioc	Quadratique (2000-2016)	2623,20	1558,40	-1064,8	Oui

Figure 21 - Exemples d'améliorations de la prévision des rendements permises par les variables secondaires du VCI

Malgré ces quelques exemples concluants, les régressions linéaires sur base des variables issues du VCI sont globalement mauvaises. Comme précédemment, ces variables ont donc été combinées, au sein de régressions multiples. Les modèles les plus performants sont repris dans le tableau ci-dessous.

MODÈLES DE PRÉVISION DES RENDEMENTS SUR BASE DES VARIABLES ISSUES DU VCI (NORD-BÉNIN)

Communes	Cultures	Variables du modèle	R ²	RMSE du modèle	RMSE sans variable	RMSE VCI seul	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	RSD	89,45	160,74	191,47	199,63	Oui
	Manioc	DDN + DUP + RRG + VMN	66,53	279,93	394,29	388,25	Oui
Cobli	Maïs	DDN + RRG	24,59	352,96	377,60	398,81	Non
	Manioc	/	40,69	2051,27	2051,27	2097,71	Non
Tanguiéta	Maïs	ADN + DDN + DMX + VMN	50,14	251,94	299,72	312,46	Oui
	Manioc	ADN + DDN + RSD	94,61	667,10	1719,69	1902,59	Oui
Banikoara	Maïs	DMN	41,87	211,95	216,42	240,07	Non
	Manioc	DDN + DMN + DMX	59,60	2531,53	2884,65	3077,61	Non
Karimama	Maïs	AUP + RSD	80,55	152,29	173,62	179,76	Oui
	Manioc	ADN + DMX + RRG + RSD	55,21	3724,88	4742,72	4959,29	Non
Malanville	Maïs	ADN + VMX	66,19	182,24	209,91	221,12	Oui
	Manioc	/	0	2958,96	2958,96	3143,63	Non

Figure 22 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues du sNDVI (Nord-Bénin)

**MODÈLES DE PRÉVISION DES RENDEMENTS SUR BASE DES VARIABLES ISSUES DU VCI
(CENTRE ET SUD-BÉNIN)**

Communes	Cultures	Variables du modèle	R ²	RMSE du modèle	RMSE sans variable	RMSE VCI seul	RMSE < 20%
Abomey-Calavi	Maïs	ADN + VAV + VMX	85,99	204,63	215,24	231,84	Oui
	Manioc	DDN + DUP	25,92	5423,55	5895,36	5779,52	Non
Sô-Ava	Maïs	/	0	731,38	731,38	800,87	Non
	Manioc	AUP + VAV	89,76	4331,21	4796,14	4885,15	Oui
Tori-Bossito	Maïs	AUP	16,61	147,85	155,32	212,66	Oui
	Manioc	/	0	6527,03	6527,03	6589,31	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	DDN + DMN + DMX + RRG	51,76	120,02	143,44	148,75	Oui
	Manioc	VMX	69,46	2502,60	2623,20	2849,56	Non
Glazoué	Maïs	ADN + DMN + DUP + VMX	83,33	85,40	156,07	172,21	Oui
	Manioc	/	30,04	4238,63	4238,63	4505,74	Non
Savè	Maïs	AUP + RRG + VAV	75,88	52,22	88,25	90,28	Oui
	Manioc	DMN + RRG + RSD	28,93	5082,69	5175,23	5663,37	Non

Figure 23 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues du sNDVI (Nord-Bénin)

Sans surprise, les modèles sont, à nouveau, toujours plus performants que le VCI seul qui donne rarement de meilleurs résultats que la tendance. Dans certains cas, le recours à un modèle entraîne des améliorations conséquentes. C'est notamment le cas pour le manioc, à Tanguiéta, pour lequel le RMSE passe de 1719,69 (tendance seule) et 1902,59 (VCI seul) à 667,10 pour un R² dépassant 90. De manière similaire, le manioc à Karimama passe de 4742,72 (tendance seule) et 4959,29 (VCI seul) à 3724,88 avec le modèle, pour un R² de 80,55. En revanche, le VCI et ses variables s'avèrent parfois incapables de rendre compte des rendements agricoles, notamment dans le cas de Glazoué. Du côté des variables, ADN, DDN et RSD sont les variables les plus récurrentes, pour le Nord du pays. En revanche, au Sud, aucune variable ne semble avoir plus de poids qu'une autre. Enfin, de manière générale, on compte cinq cas, au Nord, dans lesquels la régression multiple répond à toutes les conditions et quatre cas au Sud. En outre, la moitié des tests permettent d'obtenir un RMSE inférieur à 20%, bien que les R² ne soient pas tous satisfaisants.

Lorsque les résultats des modèles sont comparés à ceux réalisés avec les variables secondaires du sNDVI, il est remarquable que les modèles sur base des variables du VCI parviennent à couvrir des communes pour lesquelles les variables du sNDVI étaient inefficaces. C'est le cas pour le maïs à Karimama, Malanville, Glazoué et Savè. En revanche, les variables du sNDVI sont plus efficaces que le VCI pour le manioc à Banikoara et le maïs à Tanguiéta. Les deux indicateurs combinés permettent donc de prédire efficacement les rendements dans quatorze cas sur vingt-quatre.

C. CORRÉLATION AVEC L'ICN (1999-2016)

Les tests de corrélation, réalisés à partir de l'indice ICN, sont similaires à ceux réalisés pour le sNDVI et le VCI. Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE L'ICN ET LES RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU NORD-BÉNIN (1999-2016)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² ICN	RMSE sans variable	RMSE ICN	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	80,87	183,60	192,17	Oui
	Manioc	31	/	0	4,28	492,68	492,52	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	0,60	368,84	389,23	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	44,87	2062,20	2012,62	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	1	291,21	304,79	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	50,20	1633,78	1767,96	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	34,77	217,94	226,70	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	34,49	2785,61	2955,11	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	54,46	177,53	185,54	Oui
	Manioc	31	/	0	0,01	4601,27	4824,48	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	50,12	204,33	222,00	Oui
	Manioc	31	/	0	2,54	2929,82	3027,74	Non

Figure 24 - Identification des corrélations linéaires entre l'ICN et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (1999-2016)

**IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE L'ICN ET LES RENDEMENTS DU
MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU CENTRE ET SUD-BÉNIN (1999-2016)**

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² ICN	RMSE sans variable	RMSE ICN	RMSE <20%
Abomey- Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	51,05	293,88	348,71	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	35,25	4968,16	5290,22	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	20,43	738,11	835,98	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	80,18	4643,58	4831,93	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	0,46	151,42	270,83	Oui
	Manioc	25	/	0	1,39	6439,66	6480,01	Non
Dassa- Zoumè	Maïs	25	/	0	27,18	138,91	129,69	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	65,92	2670,08	3318,64	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	3,14	152,66	202,68	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	32,57	4102,75	4549,77	Non
Savè	Maïs	25	/	0	3,54	91,33	93,17	Oui
	Manioc	25	/	0	4,74	5020,99	5704,41	Non

Figure 25 - Identification des corrélations linéaires entre l'ICN et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Centre et Sud-Bénin (1999-2016)

Les tests de corrélation menés avec l'ICN présentent des résultats très peu satisfaisants. En effet, aucune corrélation ne répond à toutes les conditions. Les meilleures prévisions des rendements continuent de pencher en faveur des modèles sans variable.

Contrairement au VCI, l'ICN présente un profil saisonnier moins chaotique. On y distingue facilement les deux ou quatre saisons. Cependant, ici aussi, les anomalies peuvent être facilement repérées. Dans le cas de Glazoué, l'année 2011 présente un pic à la 24^{ème} décade qui se décale vers la gauche lors des trois années suivantes. Les profils, à Karimama, sont plus réguliers, hormis pour les années 2010, 2011 et 2014 qui présentent des chutes de l'ICN, entre la 22^{ème} et la 25^{ème} décade. Les anomalies de l'ICN sont cependant plus complexes à interpréter, dans la mesure où les valeurs

indiquent à quel point la valeur courante est proche ou éloignée des maximum et minimum historiques de la saison de culture.

ÉVOLUTION ANNUELLE DE L'ICN DES CULTURES DE GLAZOUÉ (2010 – 2017)

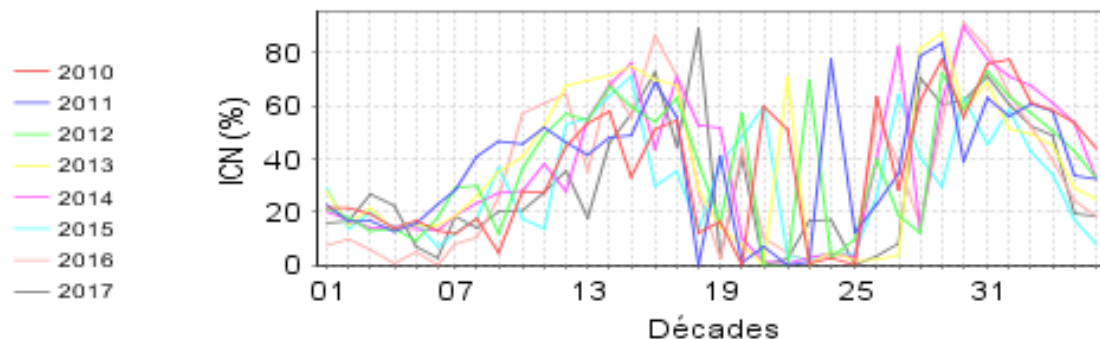
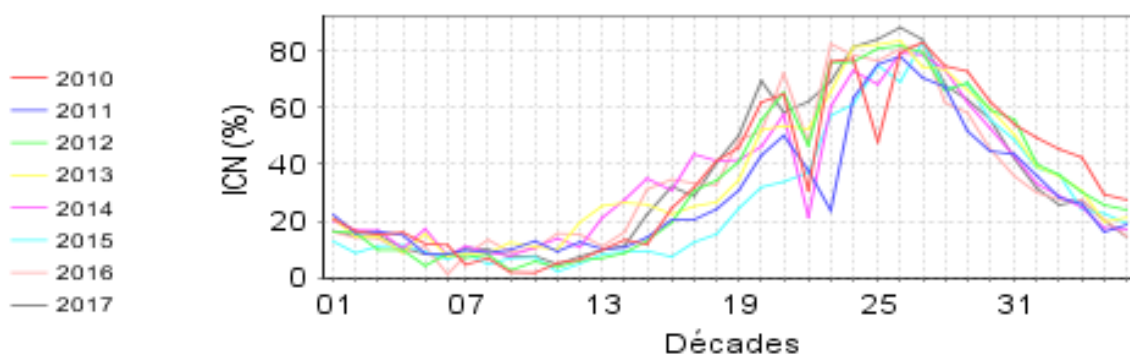


Figure 26 - Évolution annuelle de l'ICN des cultures de Glazoué (2010 – 2017)

ÉVOLUTION ANNUELLE DE L'ICN DES CULTURES DE KARIMAMA (2010 – 2017)



Quant aux variables secondaires, dont les résultats détaillés se trouvent en annexes, les corrélations linéaires présentent des résultats encore moins satisfaisants que celles avec les variables du VCI. En effet, aucune corrélation satisfaisante n'a été identifiée pour les communes du Sud. Quant aux communes du Nord, seuls trois cas présentent une corrélation remplissant toutes les conditions. Les trois cas concernent la commune de Tanguiéta dont les rendements du manioc sont corrélés aux variables VAV, DMX et DUP. La réduction du RMSE est variable mais toujours en dessous des 20% des rendements.

**EXEMPLES D'AMÉLIORATIONS DE LA PRÉVISION DES RENDEMENTS PERMISES PAR LES
VARIABLES SECONDAIRES DE L'ICN**

Communes	Variable	Culture	Trend	RMSE	RMSE	Réduction	RMSE <
				sans variable	avec variable	du RMSE constatée	20%
Tanguiéta	VAV	Manioc	Quadratique (1999-2016)	1633,78	1428,61	-205,17	Oui
	DMX				1607,99	-25,79	Oui
	DUP				1520,00	-113,78	Oui

Figure 27 - Exemples d'améliorations de la prévision des rendements permises par les variables secondaires de l'ICN

Enfin, comme précédemment, les variables secondaires ont, elles aussi, été combinées au sein de régressions multiples, de façon à identifier le meilleur modèle pour chaque commune.

**MODÈLES DE PRÉVISION DES RENDEMENTS SUR BASE DES VARIABLES ISSUES DE L'ICN
(NORD-BÉNIN)**

Communes	Cultures	Variables du modèle	R ²	RMSE du	RMSE	RMSE	RMSE
				modèle	sans variable	ICN seul	< 20%
Boukombé	Maïs	DMN + RSD + VAV	92,93	138,03	183,60	192,17	Oui
	Manioc	AUP + DUP + VMX	51,51	410,60	492,68	492,52	Oui
Cobli	Maïs	ICN + ADN + AUP + DDN	37,79	352,01	368,84	389,23	Non
	Manioc	ADN + AUP + VMX	57,68	1930,19	2062,20	2012,62	Non
Tanguiéta	Maïs	RSD + VMN	78,67	156,44	291,21	304,79	Oui
	Manioc	ADN + AUP + DMN + DUP	84,86	1286,92	1633,78	1767,96	Oui
Banikoara	Maïs	DDN + RRG	49,31	191,71	217,94	226,70	Non
	Manioc	ICN + RSD + VMN	69,96	2261,68	2785,61	2955,11	Oui
Karimama	Maïs	/	53,95	177,53	177,53	185,54	Oui
	Manioc	DMN + VAV	50,14	3566,58	4601,27	4824,48	Non
Malanville	Maïs	DDN + DMN + RRG	80,81	150,19	204,33	222,00	Oui
	Manioc	DUP	17,98	2748,44	2929,82	3027,74	Non

Figure 28 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues de l'ICN (Nord-Bénin)

**MODÈLES DE PRÉVISION DES RENDEMENTS SUR BASE DES VARIABLES ISSUES DE L'ICN
(CENTRE ET SUD-BÉNIN)**

Communes	Cultures	Variables du modèle	R ²	RMSE du modèle	RMSE sans variable	RMSE ICN seul	RMSE < 20%
Abomey-Calavi	Maïs	RRG + VAV	69,72	269,49	293,88	348,71	Non
	Manioc	DDN + DUP	52,66	4877,23	4968,16	5290,22	Non
Sô-Ava	Maïs	VAV	8,59	736,34	738,11	835,98	Non
	Manioc	VAV + ICN	85,27	4422,30	4643,58	4831,93	Oui
Tori-Bossito	Maïs	DMX	16,43	140,85	151,42	270,83	Oui
	Manioc	DMX	6,27	6391,37	6439,66	6480,01	Non
Dassa-Zoumè	Maïs	DDN + RSD + VAV + ICN	60,15	103,80	138,91	129,69	Oui
	Manioc	/	65,52	2670,08	2670,08	3318,64	Non
Glazoué	Maïs	DMN + RRG + RSD + VAV	41,85	142,50	152,66	202,68	Oui
	Manioc	AUP + DMX + VAV + ICN	69,14	3789,60	4102,75	4549,77	Non
Savè	Maïs	AUP + DDN + DMX + VAV	77,93	56,18	293,88	348,71	Oui
	Manioc	/	0	5020,99	5020,99	5290,22	Non

Figure 29 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues de l'ICN (Centre et Sud-Bénin)

Les modèles proposant une régression multiple fournissent systématiquement de meilleurs résultats que la régression simple sur base de l'ICN. Cependant, dans quatre cas, l'ICN et ses variables dérivées échouent à fournir de meilleurs résultats que la seule tendance. La régression multiple présente également des résultats très inégaux, allant d'une faible corrélation ($R^2 = 6,07$ à Tori-Bossito pour un modèle à une variable) à des résultats beaucoup plus probants ($R^2 = 92,93$ à Boukombé pour un modèle à 3 variables). Cependant, le R^2 ne dépasse les 60 que dans sept cas sur vingt-quatre. De manière globale, l'ICN produit des modèles satisfaisants pour les mêmes communes et cultures que le sNDVI et le VCI, à l'exception du maïs à Dassa-Zoumè qui n'est corrélé qu'avec un modèle ICN.

D. CORRÉLATIONS AVEC LE RFE (2001-2016)

Enfin, le dernier indice testé est le RFE, pour lequel nous disposons d'une série temporelle allant de 2001 à 2016. Comme précédemment, les premiers tableaux rendent compte des résultats obtenus pour les régressions linéaires sur base de l'indice.

IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE LE RFE ET LES RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU NORD-BÉNIN (2001-2016)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² RFE	RMSE sans variable	RMSE RFE	RMSE <20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	81,57	205,79	217,36	Oui
	Manioc	31	/	0	1,72	374,57	456,20	Non
Cobli	Maïs	31	/	0	7,07	381,84	395,33	Oui
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	51,21	2114,37	2027,73	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	1,35	309,76	342,30	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	50,34	1692,66	1748,51	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	2,58	242,81	246,00	Oui
	Manioc	31	/	0	0,52	3270,87	3325,90	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	66,41	177,42	164,91	Oui
	Manioc	31	/	0	1,04	4897,49	5014,44	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	50,58	212,33	220,31	Oui
	Manioc	31	/	0	20,15	3005,30	2784,74	Non

Figure 30 - Identification des corrélations linéaires entre le RFE et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (2001-2016)

**IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE LE RFE ET LES RENDEMENTS
DU MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU CENTRE ET SUD-BÉNIN (2001-2016)**

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² RFE	RMSE sans variable	RMSE RFE	RMSE < 20%
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	74,39	210,99	197,17	Non
	Manioc	25	/	0	2,47	5648,18	5861,04	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	21,12	756,36	701,84	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	66,80	5447,61	5538,74	Non
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	8,81	148,64	145,60	Oui
	Manioc	25	/	0	15,51	6585,08	6400,30	Non
Dassa-Zoumè	Maïs	25	/	0	2,86	147,91	149,63	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	48,79	2733,15	3226,82	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	5,51	159,36	180,46	Oui
	Manioc	25	/	0	9,14	4702,51	4984,71	Non
Savè	Maïs	25	/	0	0,02	91,31	94,77	Oui
	Manioc	25	/	0	0,32	5294,44	5806,04	Non

Figure 31 - Identification des corrélations linéaires entre le RFE et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Centre et Sud-Bénin (2001-2016)

D'après les résultats ci-dessus, les corrélations avec le RFE présentent également des résultats médiocres. En effet, elles ne remplissent toutes les conditions que dans un seul cas, pour le maïs à Boukombé. Cependant, nous avons déjà remarqué qu'en raison de la forte tendance manifestée par les statistiques agricoles de Boukombé, toutes les variables fournissent généralement de bons résultats pour cette commune. En outre, lorsque le RFE permet de fournir de meilleures prévisions que celles sans variable, le RMSE reste souvent au-dessus des 20%.

Les valeurs du RFE ont également été cumulées, grâce à SPIRITS, sur la durée de la saison. Les résultats sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE LE RFE CUMULÉ ET LES RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU NORD-BÉNIN (2001-2016)

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² Cumul RFE	RMSE sans variable	RMSE Cumul RFE	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	85,88	205,79	189,19	Oui
	Manioc	31	/	0	0,63	374,57	386,47	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	0,90	381,84	406,27	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	41,49	2114,37	2182,31	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,78	309,76	320,98	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	49,41	1692,66	1755,66	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	1,38	242,81	250,51	Oui
	Manioc	31	/	0	0,04	3270,87	3393,15	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	57,38	177,42	184,63	Oui
	Manioc	31	/	0	6,07	4897,49	5074,80	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	50,55	212,33	220,04	Oui
	Manioc	31	/	0	2,36	3005,30	3227,34	Non

Figure 32 - Identification des corrélations linéaires entre le RFE cumulé et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Nord-Bénin (2001-2016)

**IDENTIFICATION DES CORRÉLATIONS LINÉAIRES ENTRE LE RFE CUMULÉ ET LES
RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC DANS LES COMMUNES DU CENTRE ET SUD-BÉNIN
(2001-2016)**

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² Cumul RFE	RMSE sans variable	RMSE Cumul RFE	RMSE < 20%
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	70,15	210,99	228,62	Non
	Manioc	25	/	0	0	5648,18	5860,06	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	2,44	756,36	768,98	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	89,49	5447,61	3696,59	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	35,05	148,64	128,52	Oui
	Manioc	25	/	0	0,03	6585,08	6994,32	Non
Dassa-Zoumè	Maïs	25	/	0	1,05	147,91	149,07	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	57,13	2733,15	2562,47	Oui
Glazoué	Maïs	25	/	0	3,62	159,36	174,13	Oui
	Manioc	25	/	0	1,07	4702,51	4800,42	Non
Savè	Maïs	25	/	0	1,88	91,31	94,19	Oui
	Manioc	25	/	0	0,07	5294,44	5617,37	Non

Figure 33 - Identification des corrélations linéaires entre le RFE cumulé et les rendements du maïs et du manioc dans les communes du Centre et Sud-Bénin (2001-2016)

Le recours au RFE cumulé ne présente pas de grands avantages, par rapport aux valeurs décennales du RFE. On constate seulement qu'une corrélation fiable apparaît également au Sud, pour le manioc à Sô-Ava.

Les profils annuels du RFE sont susceptibles de permettre une identification rapide des anomalies. Dans le cas de Coblé, par exemple, l'année 2017 présentait de faibles précipitations, aux alentours de la décade 25, en comparaison avec les années précédentes. Pour le Sud du pays, comme à Savè, les anomalies sont néanmoins plus difficilement repérables, en raison de la forte variabilité interannuelle des pluies.

ÉVOLUTION ANNUELLE DU RFE DES CULTURES DE COBLI (2010 – 2017)

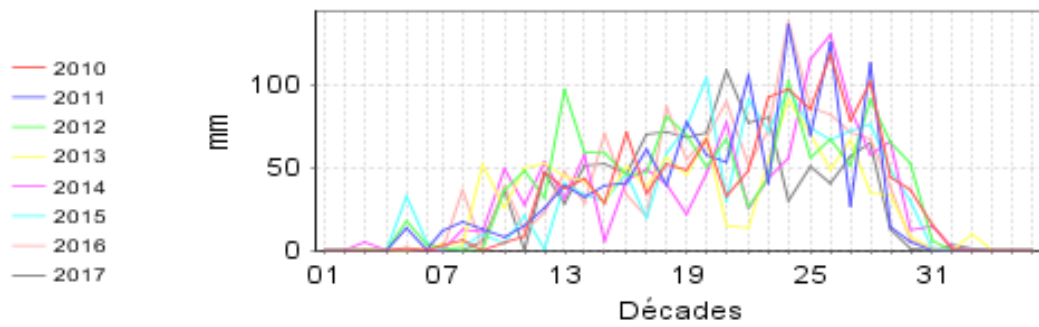


Figure 34 - Évolution annuelle du RFE des cultures de Coblí (2010 – 2017)

ÉVOLUTION ANNUELLE DU RFE DES CULTURES DE SAVÈ (2010 – 2017)

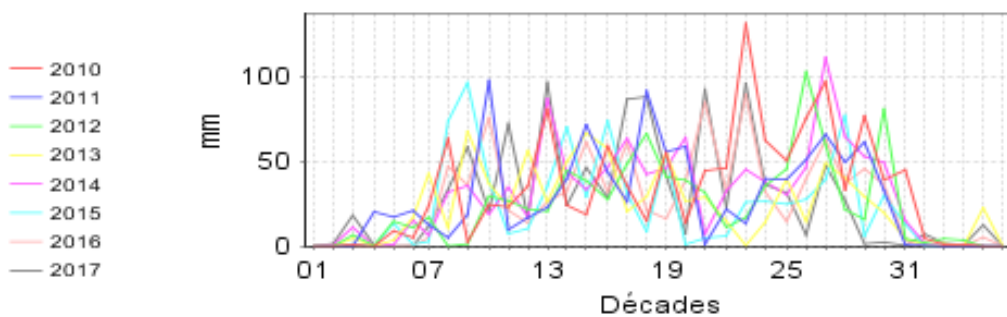


Figure 35 - Évolution annuelle du RFE des cultures de Savè (2010 – 2017)

Les résultats détaillés des régressions linéaires, basées sur les variables secondaires tirées du RFE, sont présentés en annexes. De façon comparable aux tests réalisés sur les trois indices précédents, les résultats restent faibles. Les régressions linéaires remplissant toutes les conditions, toutes variables confondues, sont au nombre de six pour le Nord et deux pour le Sud. La grande majorité des variables ne permet donc pas d'estimer correctement les rendements du maïs et du manioc pour les douze communes sélectionnées.

Comme pour les autres variables, les meilleurs résultats se situent donc encore au sein de modèles basés sur une régression multiple :

**MODÈLES DE PRÉVISION DES RENDEMENTS SUR BASE DES VARIABLES ISSUES DE DU RFE
(NORD-BÉNIN)**

Communes	Cultures	Variables du modèle	R ²	RMSE du modèle	RMSE sans variable	RMSE RFE seul	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	RFE + VAV	89,47	169,22	205,79	217,36	Oui
	Manioc	RFE + ADN + DMN	47,15	327,00	374,57	456,20	Oui
Cobli	Maïs	ADN + AUP + DUP	41,73	363,85	381,84	395,33	Non
	Manioc	DUP + VMN + RFE	67,75	1792,54	2114,37	2027,73	Non
Tanguéta	Maïs	AUP + VAV	41,99	276,61	309,76	342,30	Non
	Manioc	DMX + VAV + VMX	71,39	1636,61	1692,66	1748,51	Non
Banikoara	Maïs	DMX + RSD + VAV + VMX	69,03	176,18	242,81	246,00	Oui
	Manioc	/	0	3270,87	3270,87	3325,90	Non
Karimama	Maïs	RFE	66,41	164,91	177,42	164,91	Oui
	Manioc	/	0	4897,49	4897,49	5014,44	Non
Malanville	Maïs	DMN	56,83	207,59	212,33	220,31	Oui
	Manioc	RFE + DMN + DMX + VMN	57,34	2306,75	3005,30	2784,74	Non

Figure 36 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues de du RFE (Nord-Bénin)

**MODÈLES DE PRÉVISION DES RENDEMENTS SUR BASE DES VARIABLES ISSUES DE DU RFE
(CENTRE ET SUD-BÉNIN)**

Communes	Cultures	Variables du modèle	R ²	RMSE du modèle	RMSE sans variable	RMSE RFE seul	RMSE < 20%
Abomey-Calavi	Maïs	DMX + DUP + VAV + VMX	90,67	148,00	210,99	197,17	Oui
	Manioc	VMN	18,13	5267,09	5648,18	5861,04	Non
Sô-Ava	Maïs	DDN + RRG + VAV + RFE	49,96	666,84	756,36	701,84	Non
	Manioc	RSD + VAV	91,90	3491,98	5447,61	5538,74	Oui
Tori-Bossito	Maïs	DMX + VAV	64,50	104,52	148,64	145,60	Oui
	Manioc	ADN + DMN + RRG	59,74	4803,88	6585,08	6400,30	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	DMX + DMX + DUP	64,03	107,45	147,91	149,63	Oui
	Manioc	VAV	56,82	2558,66	2733,15	3226,82	Oui
Glazoué	Maïs	DMN	19,88	148,34	159,36	180,46	Oui
	Manioc	ADN + AUP	38,13	4457,33	4702,51	4984,71	Non
Savè	Maïs	DDN + DUP + VMN	13,26	90,38	91,31	94,77	Oui
	Manioc	ADN + AUP	46,06	4804,78	5294,44	5806,04	Non

Figure 37 - Modèles de prévision des rendements sur base des variables issues de du RFE (Centre et Sud-Bénin)

Les régressions multiples apportent quelques résultats intéressants, avec un R^2 de 90,67 pour le maïs à Abomey-Calavi et 91,90 pour le manioc à Sô-Ava. Dans ce dernier cas, le RMSE subit également une diminution importante de 1955,63 t/ha. Pour la première fois, au sein de tous les modèles testés jusqu'à présent, le RFE apparait comme la seule variable, parmi toutes les variables secondaires qui lui sont dérivées, à permettre la meilleure prévision des rendements, à Sô-Ava et Karimama pour le maïs. Cependant, le résultat obtenu reste peu satisfaisant à Sô-Ava ($R^2 = 21,12$).

Les modèles basés sur une régression multiple parviennent à fournir une prévision satisfaisante dans trois cas sur douze, au Nord, et quatre cas sur douze, au Sud. Globalement, les modèles considérés comme efficaces concernent les mêmes communes et cultures que les indicateurs précédents, hormis pour le maïs à Banikoara et à Tori-Borrito. En effet, pour ces deux cas, seul les modèles à régression multiples sur base des variables secondaires du RFE parviennent à fournir une prévision satisfaisante.

E. POTENTIEL DES MODÈLES « MIXTES »

Sans surprise, de meilleurs résultats peuvent être obtenus en combinant les variables issues des différents indices de végétation, comme en témoignent les deux résultats ci-dessous. L'objectif du travail n'étant pas d'établir les meilleurs modèles de prévisions des rendements en tant que tels mais d'identifier des corrélations, les modèles mixtes n'ont pas été réalisés pour l'ensemble des communes mais simplement à titre d'exemples.

EXEMPLES DE MODÈLES DE PRÉVISION DES RENDEMENTS BASÉS SUR UNE RÉGRESSION LINÉAIRE INCLUANT DIFFÉRENTS INDICATEURS DE VÉGÉTATION ET DE PLUVIOMÉTRIE

Communes	Cultures	Variables du modèle	R^2	RMSE du modèle mixte	RMSE du sNDVI	RMSE du VCI	RMSE du ICN	RMSE du RFE
Boukombé	Maïs	RFE + VAV_RFE + RSD_ICN + VMN_VCI	96,62	120,72	159,50	160,74	138,03	169,22
Sô-Ava	Manioc	AUP_NDVI + DMN_NDVI + VAV_NDVI + VAV_RFE	97,45	2285,15	4347,02	4331,21	4643,58	3491,98

Figure 38 - Exemples de modèles de prévision des rendements basés sur une régression linéaire incluant différents indicateurs de végétation et de pluviométrie

Les graphiques ci-dessous, générés par CGMST Statistical Tool, présentent l'ensemble des valeurs observées par rapport aux valeurs prédites par les deux modèles.

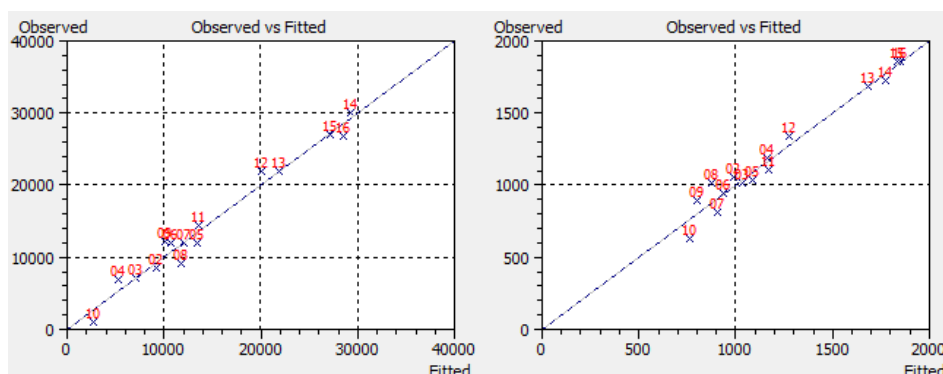


Figure 39 - Valeurs prédites et observées des rendements du manioc à Sô-Ava (gauche) et du maïs à Boukombé (droite)

Dans le cas de Tanguiéta, le gain de RMSE reste néanmoins faible, en comparaison au modèle alliant différentes variables issues de l'ICN. Au contraire, pour le manioc à Sô-Ava, l'amélioration des prévisions est nettement améliorée, en comparaison à tous les autres modèles testés auparavant. Dans ce cas-ci, le R^2 est proche de 100 et le RMSE affiche une diminution conséquente de près de la moitié des autres modèles testés.

*

Bien qu'aucune variable ne se soit imposée comme plus efficace qu'une autre, dans la prévision des rendements du maïs et du manioc des douze communes sélectionnées, les résultats sont néanmoins intéressants. En effet, lorsque nous avons recours à des modèles basés sur les régressions multiples, les quatre indicateurs parviennent à fournir des prévisions satisfaisantes pour la quasi-totalité des communes. Les résultats sont d'autant meilleurs, lorsque les indicateurs sont combinés entre eux, comme dans le cas des modèles « mixtes ». Nous n'avons, certes, pas pu identifier une variable qui aurait plus de poids qu'une autre, ni une différence significative entre les résultats pour les communes du Nord et pour celle du Sud. Cependant, nous avons mis en évidence le grand potentiel des indicateurs de végétation et de pluviométrie, lorsqu'ils sont déclinés en variables secondaires, pour la construction de modèles fiables de prévisions des rendements, présentant non seulement un R^2 supérieur à 60 (et, dans bien des cas, supérieur à 80) et un RMSE inférieur à 20% des rendements prédits.

V. DISCUSSIONS DES RÉSULTATS

A. LIMITES DE L'ANALYSE

Les résultats présentés ci-dessus peuvent être nuancés à la lumière des limites de l'analyse réalisée. La première limite que l'on peut souligner est la non exhaustivité des variables ayant été testées. En effet, il aurait été possible de produire d'autres variables secondaires, telles que, par exemple, les valeurs mensuelles du NDVI ou les cumuls de précipitations mensuels. Par ailleurs, nos tests sont restés centrés autour des indices de végétation et de pluviométrie repris par le Cadre Harmonisé. Dès lors, nous n'avons pas eu l'occasion de recourir à des variables d'ordre météorologiques qui sont souvent utilisés dans les modèles de prévision des rendements. Une étude approfondie visant à établir des modèles de prévisions des rendements aurait pu prendre en considération, par exemple, les températures moyennes, l'évapotranspiration ou encore le bilan hydrique de la culture envisagée. Ces variables peuvent notamment être acquises grâce au logiciel AGROMETSHELL, développé par la FAO.

La décade choisie pour réaliser le test de corrélation peut également jouer un rôle important dans les résultats obtenus. Les décades que nous avons choisies correspondent à la fin de la période de développement de la végétation, avant la date théorique du début des récoltes. Cela correspond aussi, *grosso modo*, à la période à laquelle se tiennent les réunions d'analyses Cadre Harmonisé, ce qui aurait constitué l'avantage non négligeable de fournir aux experts des données ne pouvant être exclues pour des raisons de temporalité non adéquate. En effet, dans le cas des communes du Sud, la deuxième saison des pluies permet des récoltes jusqu'en décembre mais cette date est trop éloignée des réunions Cadre Harmonisé pour en tirer parti lors de celles-ci. Cependant, plusieurs études ont conclu que, dans différentes régions du monde, les meilleures corrélations se situaient souvent dans une période allant jusqu'à deux mois avant les récoltes (voir par ex. MKHABELA *et al.*, 2001). Nous avons, certes, fait varier à plusieurs reprises les décades, avant d'arrêter notre choix. Bien que les résultats ne nous aient pas semblé significativement impactés, une étude plus approfondie devrait également résoudre cette question, en identifiant la décade la plus propice à la meilleure corrélation.

En ce qui concerne le traitement des images satellites, le masque *Landcover* employé, pour l'extraction des fichiers .RUM, peut être considéré comme manquant de précision. En effet, il ne permet d'isoler que les zones de cultures non irriguées, sans distinction entre les types de cultures.

Dès lors, les indicateurs ont été extraits pour l'ensemble des cultures mais mis en relation avec les rendements du maïs et du manioc uniquement.

Enfin, les statistiques agricoles affichent une qualité inégale. En effet, certains chiffres semblent avoir été reportés, d'année en année et manquent, eux aussi, de précision. C'est particulièrement le cas pour les rendements du manioc.

B. LES INDICES DE VÉGÉTATION PEUVENT-ILS ÊTRE UTILES À L'ANALYSE CADRE HARMONISÉ, AU BÉNIN ?

Au terme des tests menés précédemment, nous pouvons conclure que les indices de végétation et de pluviométrie présentent deux obstacles majeurs à leur intégration au sein des analyses Cadre Harmonisé, au Bénin. En effet, destinés à évaluer si les rendements agricoles sont susceptibles de subir un impact positif, négatif ou neutre, les indices de végétation et de pluviométrie sont à considérer comme des indicateurs devant permettre une identification rapide des phénomènes. Pour cela, ils doivent être interprétable d'une façon relativement aisée et fiable. En conséquence, la forme que revêtent ces indices est primordiale.

Nous avons vu que les profils annuels des indices de végétation et de pluviométrie permettaient, généralement, d'identifier assez rapidement les anomalies, qu'elles soient positives ou négatives. Cependant, l'interprétation de ces dernières a été remise en question par nos résultats. En effet, en raison de la variabilité importante des corrélations identifiées entre les variables et les rendements du maïs et du manioc, nous pensons que les experts ne seront pas en mesure d'attribuer aisément un impact aux anomalies identifiées. En effet, lorsque la variable n'est pas corrélée de manière fiable aux rendements, la variation de celle-ci peut difficilement être interprétée sous la forme d'un impact sur les seconds. Le risque serait donc de voir les indices issus de la télédétection emprunter le même chemin que le proxy calorique, à savoir des indicateurs présents au sein des analyses sans qu'ils ne soient en mesure d'y apporter une réelle plus-value.

Pour autant, cela n'invalide pas la pertinence des indices pour la prévision des rendements. Les tests ont, en effet, mis en évidence que les variables issues des indices de végétation et de pluviométrie, lorsqu'elles sont combinées, permettent la construction de modèles présentant à la fois un coefficient de corrélation R^2 satisfaisant (> 60) et un RMSE peu élevé ($< 20\%$ des

rendements). Cependant, les résultats des corrélations établies présentent une variabilité importante, en fonction des indices de végétation et de pluviométrie, des communes et des cultures. Cette variabilité se révèle à la fois lorsque les variables sont testées séparément mais également lorsque des modèles à plusieurs variables sont employés.

Dès lors, étant donné la multiplicité des variables à prendre en compte, des moyens humains et techniques devraient être assignés à cette tâche, afin que des prévisions de rendements soient disponibles pour les analyses Cadre Harmonisé du mois de novembre. Dans cette optique, la problématique se transforme et soulève la question de la pertinence et de la possibilité de mettre en œuvre de tels moyens, dans le cas du Bénin. Pour répondre à cette question, un retour à la démarche qualitative est nécessaire.

VI. APPROCHE QUALITATIVE DES DÉFIS SOCIO-INSTITUTIONNELS POSÉS PAR LE RECOURS AUX IMAGES SATELLITES POUR L'ANALYSE CADRE HARMONISÉ

A. CONTEXTE INSTITUTIONNEL

En effet, au-delà des obstacles techniques, les contraintes ayant trait à la manière dont s'organisent les analyses Cadre Harmonisé, aux questions institutionnelles et aux moyens dont disposent les pays pour organiser ces analyses, sont également à prendre en considération. En outre, aborder ces obstacles conduira également à réfléchir à la prépondérance du pilier de la disponibilité alimentaire et, dans une moindre mesure de l'accessibilité, comparativement aux autres facettes de la sécurité alimentaire.

Dans la seconde partie de ce travail, nous avons eu l'occasion de souligner à quel point la temporalité pouvait être un obstacle important, lors des analyses, en raison de la règle selon laquelle le Cadre Harmonisé ne peut travailler avec des données datées de plus de trois mois. Les indicateurs issus de la télédétection spatiale, dans ce contexte, offrent le grand avantage d'être disponibles en temps presque réel. Ils seraient donc susceptibles de permettre aux experts de travailler avec des

données récentes, lorsque d'autres données sur la production agricole sont trop anciennes ou encore provisoires.

Cependant, l'accessibilité des indices de végétation et de pluviométrie, en ce qui concerne le Bénin, pose un problème majeur. En effet, le Centre National de Télédétection (CENATEL), basé à Cotonou, a été équipé d'une station de réception des images satellites par le projet européen MESA⁹. Cependant, le CENATEL se plaint d'un dysfonctionnement de cette station, de telle sorte que leurs activités sont actuellement suspendues et ce, pour une durée indéterminée. En outre, la faible vitesse des connexions internet disponibles rend les transferts de fichiers volumineux très laborieux. En conséquence, dans l'état actuel des choses, le CENATEL n'est pas en mesure de fournir au Cadre Harmonisé les données nécessaires. Néanmoins, des discussions sont actuellement en cours avec Météo-Bénin, afin que les images NDVI soient récupérées par leurs infrastructures et, ensuite, transmises au CENATEL puis, *in fine*, au Cadre Harmonisé.

B. NUTRITION ET SANTÉ : CE QUI ÉCHAPPE ENCORE AU CADRE HARMONISÉ

La volonté d'ajouter les données issues de la télédétection aux analyses Cadre Harmonisé pourrait constituer une opportunité de construire des modèles fiables de prévision des rendements. Cependant, dans l'état actuel des choses, le risque encouru est de voir se renforcer encore le déséquilibre entre les différents piliers de la sécurité alimentaire. En effet, depuis les années 1990, cette dernière s'est vue attribuer une nouvelle dimension, mettant en exergue les aspects nutritionnels et l'accès social. Cependant, en pratique, les considérations gravitant autour de la disponibilité alimentaire dominant encore et cela se ressent fortement au travers des indicateurs majoritairement utilisés pour les analyses Cadre Harmonisé. Le cas le plus flagrant d'un indicateur obsolète est le proxy calorique qui divise la production alimentaire par le nombre d'individus. Non seulement cet indicateur correspond à une vision datée de la sécurité alimentaire, qui mettait en évidence les calories plutôt que les aspects nutritionnels mais en outre, cet indicateur donne systématiquement, dans la pratique, une vision biaisée de la situation alimentaire du Bénin.

⁹ Le programme *Monitoring for Environmental and Security in Africa* (MESA) est un programme européen dont l'une des actions concrètes a été d'équiper certaines institutions, dans 48 pays d'Afrique, de stations de réception des images satellites. Le projet devait permettre l'installation de 55 stations météorologiques, 115 stations de monitoring environnemental et 4 stations de référence (EARSC, 2016).

La prépondérance du pilier de la production découle, probablement, de plusieurs causes. Premièrement, le Cadre Harmonisé est entièrement entre les mains du MAEP et ne laisse, dans la pratique, que peu de place aux interventions du Ministère de la Santé. Deuxièmement, les réseaux de récolte de données liées à l'agriculture sont probablement plus anciens et mieux implantés que ceux liés à des aspects plus récents, notamment parce que l'agriculture représente un secteur politiquement et économiquement stratégique. Troisièmement, les campagnes de récolte de données nutritionnelles, basées sur des mesures anthropométriques, sont réputées comme très coûteuses et peu de pays participant au Cadre Harmonisé sont en mesure de fournir régulièrement ces données (à l'exception peut-être du Niger et du Sénégal).

La multi-dimensionnalité de la sécurité alimentaire rend l'analyse complexe, non seulement dans son élaboration conceptuelle mais également dans sa mise en œuvre concrète. Face aux déséquilibres en termes de données mais également à la singularité des contextes locaux, le Cadre Harmonisé peine à saisir les causes mêmes de l'insécurité alimentaire. En effet, les raisons pour lesquelles la malnutrition se rencontre, au Bénin, principalement dans les grandes zones de productions agricoles, comme l'Atacora, échappent aux analyses.

Les acteurs locaux au sein des municipalités mettent, pourtant, directement le doigt sur les causes réelles, lorsqu'ils sont interrogés à ce sujet. Pour eux, la malnutrition découle essentiellement d'aspects culturels et religieux, d'une part, et de la consommation d'alcool frelaté, d'autre part. De tels aspects, liés à l'accès social à la nourriture, échappent aux analyses Cadre Harmonisé. La dilapidation des productions agricoles pour l'achat d'alcool ou les interdits alimentaires imposés aux femmes et aux enfants sont autant de réalités locales qui ne trouvent actuellement pas leur place au sein des analyses.

En somme, bien que le Cadre Harmonisé ait pour principe fondamental de ne pas appliquer de pondération aux différentes preuves recueillies, lors de la classification de la gravité des situations d'insécurité alimentaire, la pratique montre qu'une **pondération de fait** est bel et bien appliquée. En effet, à partir du moment où les données disponibles passent sous silence une grande partie de la réalité, les différents piliers de la sécurité alimentaire n'ont, *de facto*, jamais le même poids lors de l'analyse. Cette situation entraîne, pour certains acteurs interrogés, la fausse impression que le Bénin ne souffre pas véritablement de problèmes d'insécurité alimentaire, dans la mesure où la production est bonne. Pour eux, cependant, de véritables enquêtes de terrain permettraient de mettre au jour une situation bien moins idéale.

La nécessité affichée de multiplier les données, afin de rendre l'analyse plus solide, conduit ici à accumuler des données redondantes et pas toujours pertinentes, tandis que les enjeux réels restent dans l'ombre. En somme, la question des indicateurs issus de la télédétection posent à nouveau la question de l'applicabilité du Cadre Harmonisé. En effet, le Manuel indique une série d'indicateurs pouvant être utiles aux analyses, laissant la charge aux experts de les recueillir et de les interpréter. Cependant, il est discutable de considérer que tous ces indicateurs puissent être utilisés, de manière indifférente, dans tous les contextes possibles. C'est particulièrement flagrant avec les indices de végétation et de pluviométrie, qui ont révélé une variété importante de relations aux rendements agricoles, en fonction des cultures et des communes envisagées. Le danger, dans un tel contexte, vient du manque de recul dont disposent les experts nationaux face à ces indicateurs imposés par le Cadre Harmonisé. Le risque reste donc que des indicateurs soient mal interprétés et/ou ne se révèlent d'aucune utilité, tels que le proxy calorique qui reste pourtant usité dans toutes les sessions d'analyse.

VII. RECOMMANDATIONS : LE CADRE HARMONISÉ ET L'OUTIL EUROPÉEN ASAP

Compte tenu que la volonté des acteurs de recourir aux indices issus de la télédétection se heurte actuellement aux obstacles identifiés précédemment, la meilleure recommandation serait de tirer profit d'un outil déjà existant. Bien que cela ne résoudrait pas encore le problème de la difficile interprétation des indicateurs, en termes d'impacts sur la production agricole, l'outil européen ASAP offre une opportunité intéressante de mettre à profit la télédétection au sein des analyses Cadre Harmonisé.

L'outil *Anomaly hot Spots of Agricultural Production* (ASAP), développé conjointement par le *Monitoring Agricultural Resources Unit* (MARS) et le *Joint Research Center* (JRC), vise à l'application des méthodes de monitoring des cultures, développées en Europe, aux pays à hauts risques d'insécurité alimentaire. ASAP se présente comme un outil complexe tirant profit à la fois des images NDVI et des estimations de pluies (RFE) qui, après traitements, permettent la production d'une cartographie des anomalies de végétation. ASAP produit des bulletins décennaires d'alertes précoces, ainsi que des bulletins mensuels déclinés par pays. En outre, tout utilisateur peut facilement se connecter à l'*ASAP Warning Explorer* qui présente la cartographie courante, caractérisée par un code couleur en fonction de la gravité des anomalies identifiées mais qui permet également de

remonter dans les archives. Par ailleurs, l'utilisateur peut choisir d'afficher les anomalies pour les cultures, autant que pour les pâturages, grâce à l'utilisation d'un masque *landcover*. Chaque région cartographiée s'accompagne également de statistiques plus détaillées et de graphiques, permettant notamment de suivre l'évolution des indicateurs et de les comparer à leur moyenne historique. Enfin, un autre atout majeur de l'outil ASAP est d'intégrer des données issues d'images à haute résolution, provenant des satellites SENTINEL-2 et LANDSAT-8 (REMBOLD *et al.*, 2019).

Malgré les opportunités offertes par ASAP, la question des impacts des anomalies identifiées sur les rendements agricoles et, dès lors, sur la sécurité alimentaire, pose toujours un problème d'interprétation, dans le cas du Bénin. Par exemple, entre juin et décembre 2015, les cartographies ASAP faisaient état d'une d'alerte de niveau trois (rouge) pour les départements de l'Atacora, de l'Alibori et des Collines. Or, lorsque l'on épluche les rapports issus des analyses Cadre Harmonisé au Bénin, la période de sécheresse identifiée a, en réalité, conduit à des rendements agricoles satisfaisants, sans qu'un réel impact négatif n'ait pu être constaté.

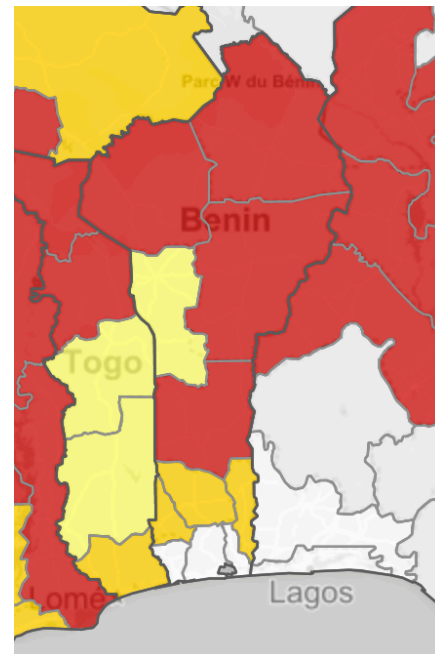


Figure 40 - Capture d'écran du Warning Explorer d'ASAP (septembre 2015)

Néanmoins, la réflexion mérite d'être élargie aux autres pays participant au Cadre Harmonisé et, principalement, aux pays du Sahel pour lesquels la problématique de la disponibilité alimentaire se pose avec beaucoup plus de prégnance qu'au Bénin. Nombreux de ces pays font également état d'un manque de données fiables, tandis que certains présentent des zones inaccessibles, pour cause de conflits répétés.

Dans ce contexte, la collaboration entre l'outil ASAP et le Cadre Harmonisé mériterait, selon nous, d'être approfondie, afin de permettre aux pays de profiter des avancées technologiques permises par la télédétection spatiale. La télédétection pourrait être assumée pour ce qu'elle est vraiment, à savoir une source d'informations issue d'une perspective top-down. La mise en œuvre d'un outil puissant et efficient, qui requiert en outre d'importants moyens financiers et techniques, ne peut émaner que de la coopération entre les grandes institutions internationales. Une telle collaboration nécessiterait, avant tout chose, une vaste enquête destinée à saisir avec précision ce dont les pays ont réellement besoin, à l'heure actuelle, lorsqu'il est question du Cadre Harmonisé

et de la prévision des rendements agricoles. Des ajustement réciproques seraient ensuite obligatoires. En effet, d'un côté, la division administrative privilégiée par ASAP est celle du deuxième niveau administratif, là où le Cadre Harmonisé travaille avec une division administrative de niveau trois. D'autre part, les indicateurs privilégiés sont également différents. Cependant, ces considérations constituent des obstacles moindres, en comparaison avec les études plus approfondies qui devraient être menées, afin de parvenir à lier les indicateurs utilisés par l'outil européen et les impacts à attendre sur les rendements agricoles des différents pays. Il est permis d'imaginer, en effet, que les recherches menées par le JRC quant à une possible transposition du système de prévisions des rendements à l'échelle européenne (AGRI4CAST) à d'autres régions puisse un jour servir aux analyses Cadre Harmonisé (JRC, s.d.).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Multidimensionnelle, la sécurité alimentaire constitue un phénomène complexe dont la conceptualisation a évolué, depuis les années 1970, d'une vision centrée sur la production alimentaire et les marchés vers la prise en considération, de plus en plus forte, de ses aspects nutritionnels et sociaux. Parmi les cadres analytiques ayant vu le jour, pour mesurer l'insécurité alimentaire et y apporter des solutions adéquates, le Cadre Harmonisé s'est imposé, en Afrique de l'Ouest, depuis les années 1990.

Le Bénin, pays côtier présentant des problèmes d'insécurité alimentaires moins prégnants que ses voisins du Sahel, est entré dans le processus Cadre Harmonisé, depuis 2014. Comme la majorité des autres pays participant, les analyses Cadre Harmonisé au Bénin manquent cruellement de données directes, destinées à fournir une image instantanée de la gravité de l'insécurité alimentaire, au sein des communes du pays. Ce manque de données directes conduit les experts à tenter d'ajouter, sans cesse, de nouvelles données à leurs analyses, afin de contrebalancer ces manquements. Dans ce contexte, les indicateurs issus de la télédétection spatiale attirent l'attention des experts et leur inclusion, au sein des analyses, est même encouragée par la nouvelle version du Manuel du Cadre Harmonisé, à paraître prochainement.

La présente recherche visait donc à fournir une évaluation critique des potentialités liées à l'inclusion de ces indices de végétation et de pluviométrie dans les analyses Cadre Harmonisé, au Bénin. La première étape a consisté en une étude qualitative, au travers d'une matrice SWOT, des limites inhérentes aux analyses Cadre Harmonisé, dans son application locale. Les grandes limites soulevées concernaient principalement le manque de données, le peu de visibilité dont bénéficie le Cadre Harmonisé, le défaut de scientificité de l'outil ou, encore, la problématique de l'applicabilité d'un outil pensé comme universel à des réalités locales irréductibles.

Dans un second temps, la recherche a pris un tournant plus technique, visant à tester la pertinence des indices de végétation et de pluviométrie pour l'appréciation des impacts potentiels sur les rendements agricoles. Ces indices ont donc été confrontés aux statistiques agricoles, afin d'identifier d'éventuelles corrélations. Les résultats obtenus ont montré qu'aucune corrélation n'était apparue comme véritablement satisfaisante, à moins de recourir à des régressions multiples

en combinant différentes variables. Dans ces cas-là, il est alors possible de construire des modèles fiables de prévisions des rendements, affichant non seulement un R^2 élevé et une erreur de prédiction inférieure à 20% des rendements prédits.

Il nous restait alors à apprécier si, compte tenu de ces résultats, les indicateurs de végétation et de pluviométrie pouvaient être implémenter efficacement au sein des analyses Cadre Harmonisé, au Bénin. Un retour à l'analyse qualitative nous a permis de conclure que le Bénin ne disposait pas, actuellement, des conditions institutionnelles nécessaires à la mise en œuvre de ces indicateurs de façon pertinente. Cependant, nous avons réinsisté sur les potentialités offertes par les indices issus de la télédétection et les avantages qui pourraient découler d'une collaboration étroite avec l'outil européen ASAP.

En outre, nos recherches sur les indices issus de la télédétection, dans le contexte du Cadre Harmonisé, ont permis d'approfondir encore notre critique de l'outil. En effet, nous avons pu discuter de la prépondérance de l'aspect « disponibilité », au sein des analyses, comparativement aux autres piliers de la sécurité alimentaire actuellement délaissés. Or, les indices de végétation et de pluviométrie ne feraient que renforcer encore cette tendance.

La course aux nouvelles données, ne fait, en réalité que noyer le véritable problème, principalement en raison du fait que les indicateurs secondaires ne seront jamais en mesure de fournir une information aussi probante que les indicateurs directs le peuvent. Le Cadre Harmonisé risque donc de tomber dans un cercle vicieux où le manque de données directes le pousse à investir dans des données indirectes toujours plus nombreuses mais incapables de fournir l'information clef dont les analystes auraient réellement besoin. La multiplication des données constitue donc, à la fois, une nécessité pour que se réalise la convergence des preuves qui constitue l'un des principes fondamentaux du Cadre Harmonisé mais également un piège induisant la prépondérance de la quantité sur la qualité.

BIBLIOGRAPHIE

ACF & WFP (2012), *Réflexion sur les Méthodes d'Analyse et de Ciblage en Sécurité Alimentaire en Afrique de l'Ouest. Atelier de Dakar, du 22 au 25 mai 2012.*

AMBASSADE DE LA REPUBLIQUE DU BENIN EN FRANCE (s. d.), *Géographie et climat*, [En ligne], <http://www.ambassade-benin.org/article7.html> (Dernière consultation : 20 avril 2019).

ASOKA A. & Mishra V. (2015), "Prediction of vegetation anomalies to improve food security and water management in India", in *Geophysical Research Letters*, n°42, p. 5290-5298.

BALAGHI R., TYCHON B., EERENS H., JLIBENE M. (2008), "Empirical regression model using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco", in *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 10(4), p. 438-452.

BOKO M., KOSMOWSKI F., & VISSIN E. W. (2012), *Les enjeux du changement climatique au Bénin*, Konrad Adenauer Stiftung.

BONNET S., TOROMANOFF F., FOURNEAU F. & Lejeune P. (2011), "Principes de base de la télédétection et ses potentialités comme outil de caractérisation de la ressource forestière. Images aériennes et satellitaires", in *Forêt Wallonne*, n°113, p. 45-56.

BROWN L. R. (2012), *Full Planet, Empty Plates. The New Geopolitics of Food Scarcity*, New York - London, Norton & Company.

BROWN M. (2013), *Food Security, Decision Making and the Use of Remote Sensing in Famine Early Warning Systems*, BiblioGov Project.

CAMPOS M., WARREN R., BIRKMANN, J., LUBER G., O'NEILL B. & TAKAHASHI K. (2014), "Emergent risks and key vulnerabilities", in *Climate Change 2014 : Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A : Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge, Cambridge University Press, p. 1039-1099.

CAN (2014), *Synthèse. Projet Multisectoriel de l'Alimentation, de la Santé et de la Nutrition (PMASN)*.

CEDEAO (2016), *Une réserve régionale pour prévenir et gérer les crises alimentaire en Afrique de l'Ouest*, [En ligne], <http://www.araa.org/fr/news/cedao-une-r%C3%A9serve-r%C3%A9gionale-pour-pr%C3%A9venir-et-g%C3%A9rer-les-crisis-alimentaires-en-afrique-de-l> (Dernière consultation : 20 avril 2019).

CILSS (2014), *Cadre Harmonisé. Identification et analyse des zones à risque et des populations en insécurité alimentaire et nutritionnelle au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Manuel*.

CILSS (2018), *Cadre Harmonisé Version 2.0. Analyse et identification des zones à risque et des populations en insécurité alimentaire et nutritionnelle. Brouillon*.

CILSS & FEWSNET (2019), *Note de concept pour l'élaboration d'un programme quinquennal 2018 - 2022. Amélioration de la qualité de mise en oeuvre du Cadre Harmonisé au Sahel et en Afrique de l'Ouest*.

DILLEY M. & BOUDREAU T. (2001), "Coming to terms with vulnerability: a critique of the food security definition", in *Food Policy*, n°26, p. 229-247.

DJOHY G. L. (2017), "Stratégies d'adaptation des maraîchers face à la déplétion des ressources en eau dans un contexte de changements climatiques dans la Commune de Parakou (Nord-Bénin)", in *Actes du colloque international « Sécurité alimentaire et adaptation des systèmes de production aux changements climatiques » du 15 au 17 novembre 2017 (Université de Parakou, Bénin)*, [En ligne], https://www.researchgate.net/publication/322577864_Strategies_d'adaptation_des_maraichers_face_a_la_depletion_des_ressources_en_eau_dans_un_contexte_de_changements_climatiques_dans_la_Commune_de_Parakou_Nord-Benin (Dernière consultation : 20 avril 2019).

DWYER L., COSTA C., COBER E., MORRISON M. (2001), "Early prediction of soybean yield from canopy reflectance measurements", in *Agronomy Journal Abstract*, v. 93, n°6, p. 1227-1234.

European Association of Remote Sensing Companies (EARSC)(2016), *The MESA project started deployment of satellite receiving stations*, [En ligne], <http://earsc.org/news/the-mesa-project-started-deployment-of-satellite-receiving-stations> (Dernière consultation : 10 août 2019).

EERENS H., & HAESSEN D. (2018), *SPIRITS. Software for the Processing and Interpretation of Remotely sensed Image Times Series. User's manual. Version 1.5.2.*, [En ligne], <https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/files/SpiritsManual.pdf> (Dernière consultation : 20 avril 2019).

ERICKSEN P. (2008), "What is the Vulnerability of a Food System to Global Environmental Change?", in *Ecology and Society*, v. 14, n°2, [En ligne], <https://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art14/> (Dernière consultation : 15 mai 2019).

EUMETSAT, (s. d.). Surveillance pour l'environnement et la sécurité en Afrique (MESA), [En ligne], <https://www.eumetsat.int/website/home/AboutUs/InternationalCooperation/Africa/TheAchievementsandProspectsofEarthObservationinAfrica/index.html?lang=FR&pState=1> (Dernière consultation : 10 août 2019).

FAO (2008), *Food Security Concepts and Frameworks*, [En ligne], <http://www.fao.org/elearning/#/elc/en/course/FC> (Dernière consultation : 4 juin 2019).

FAO (2012), *Cadre intégré de classification de la sécurité alimentaire. Manuel technique version 2.0.*

FAO (2013), *Trade Reforms and Food Security. Conceptualizing the Linkages*, [En ligne] <http://www.fao.org/3/y4671e/y4671e00.htm#Contents> (Dernière consultation : 4 juin 2019).

FAO (2018), *Profil national genre des secteurs de l'agriculture et du développement rural: Bénin*, [En ligne], <http://www.fao.org/3/i9671fr/I9671FR.pdf> (Dernière consultation : 4 juin 2019).

FAO (2019), *IPC Overview and Classification System*, [En ligne], <http://www.ipcinfo.org/ipcinfo-website/ipc-overview-and-classification-system/en/> (Dernière consultation : 20 avril 2019).

FAO Bénin (2012), *Cadre de Programmation Pays (2012 - 2015)*.

FAO & CEDEAO (2018), *Profil National Genre des Secteurs de l'Agriculture et du Développement Rural - Bénin*.

FAO, FIDA, OMS, PAM, & UNICEF (2018), *The State of Food Security and Nutrition in the World*

2018. *Building climate resilience for food security and nutrition.*

FEWSNET s. d.). RFE (Rainfall Estimate), [En ligne], Consulté <https://earlywarning.usgs.gov/fews/product/48> (Dernière consultation : 2 juin 2019).

GBAGUIDI M. (2004), *Diagnostic du profil de pauvreté au Sud-Bénin : Cas du département de l'Atlantique*, Mémoire de Maîtrise en Sciences de Gestion, Université d'Abomey-Calavi.

GNANGLÉ C. P., GLÈLÈ KAKAÏ R., ASSOGBADJO A. E., VODOUNNON S., YABI J. A. & SOKPON N. (2011), "Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin", in *Climatologie*, n°8, p. 27-40.

GOEDHART P., HOEK S. & BOOGAARD H. (2019), *The CGMS Statistical Tool. User Manual v. 3.5.1.*, [En ligne], https://mars.jrc.ec.europa.eu/asap/files/CGMS-Statistical-Tool-V_3_5_1.pdf (Dernière consultation : 2 avril 2019).

GROCHOWSKA R. (2014), "Specificity of Food Security Concept as a Wicked Problem", in *Journal of Agricultural Science and Technology*, n°4, p. 823-831.

GROTEN S.M. (1993), "NDVI crio monitoring and early yield assessment of Burkina Faso", in *International Journal of Remote Sensing*, v.14, n°8, p. 1495-1515.

HARARY D. (2017), "Remote Sensing Satellites as a Solution Towards Anticipating Food and Water Wars", in *Cornell International Affairs Review*, v. 10, n°2, [En ligne], <http://www.inquiriesjournal.com/a?id=1649> (Dernière consultation : 17 mai 2019).

HATFIELD J., & PRUEGER, J. (2010), "Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices", in *Remote Sensing*, n°2, p. 562-578.

HEA SAHEL. (2018), *Présentation*, [En ligne], <https://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/newsroom/wfp142360.pdf> (Dernière consultation : 20 avril 2019).

HOUNTONDI Y.-C., NICOLAS J., SOKPON N. & OZER, P. (2005), "Mise en évidence de la résilience de la végétation sahélienne par télédétection basse résolution au Niger à la suite d'épisodes de sécheresse", in *Belgeo*, n°4, [En ligne], <http://belgeo.revues.org/12245> (Dernière consultation : 20 avril 2019).

INSAE (2018), *Portail de données*, [En ligne], [http://benin.opendataforafrica.org/data#source=Institut+National+de+la+Statistique+et+de+l%E2%80%99Analyse+Economique+\(INSAE\)+du+Benin](http://benin.opendataforafrica.org/data#source=Institut+National+de+la+Statistique+et+de+l%E2%80%99Analyse+Economique+(INSAE)+du+Benin) (Dernière consultation : 18 juillet 2019).

JACOB S. & Ouvrard L. (2009), "L'évaluation participative. Avantages et difficultés d'une pratique innovante", in *Cahiers de la performance et de l'évaluation*, n°1.

JACOBS T., SWINNEN E., TOTÉ C. & WOLFS D. (2018), *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). Collection 1KM. Version 2.2.*, [En ligne], https://land.copernicus.eu/global/sites/cgls.vito.be/files/products/GIOGL1_PUM_NDVI1km-V2.2_I2.31.pdf (Dernière consultation : 2 avril 2019).

JIANG R., XIE J., HE H., KUO C.-C., ZHU J. & YANG, M. (2016), "Spatiotemporal variability and predictability of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Alberta, Canada", in *International Journal of Biometeorology*, v. 60, n°9, p. 1389-1403.

Joint Research Center (s.d.), Crop Monitoring and Yield Forecasting, [En ligne], <http://ies-webarchive-ext.jrc.it/mars/mars/About-us/AGRI4CAST/Crop-Monitoring-and-Yield-Forecasting2.html> (Dernière consultation : 15 août 2019).

KOGAN F. (1990), "Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas", in *International Journal of Remote Sensing*, n°11, p. 1405-1419.

KOGAN F. (2019), *Remote Sensing for Food Security*, Cham, Springer.

KOLAWOLE A. (2008), "Le Bénin : données géographiques", in *Dieux, rois et peuples du Bénin : arts anciens du littoral aux savanes*, Paris, Somogy, p. 15 et 16.

KOMP K., & HAUB C. (2012), *Global Monitoring for Food Security and Sustainable Land Management : Recent Advances of Remote Sensing Applications to African and Siberian Show Cases*, présenté à International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne.

LA BANQUE MONDIALE (2016), *Terres agricoles (% du territoire)*, [En ligne], <https://donnees.banquemondiale.org/indicateur/AG.LND.AGRI.ZS?view=map> (Dernière consultation : 23 avril 2019).

LATOUR B. (2012), *Pasteur : guerre et paix des microbes*, Paris, La Découverte.

MAEP (2017), *Cadre Programmatique du Secteur Agricole*.

MAXWELL D., HAILEY P., KIM J. J., MCCLOSKEY E., & WRABEL M. (2018), *Contraintes et complexités liées à la collecte et à l'analyse de données en situation d'urgence humanitaire : le cas du Nigeria*, Boston, Feinstein International Center.

MEERA G., PARTHIBAN G. & BAGARAJ T. A., (2015), "NDVI : Vegetation change detection using remote sensing and GIS - A case study of Vellore District.", in *Procedia Computer Science*, n°57, p. 1199-1210.

MINISTERE DE LA DECENTRALISATION ET DE LA GOUVERNANCE LOCALE (s.d.), *Le département des Collines*, [En ligne], <https://decentralisation.gouv.bj/departement-des-collines/> (Dernière consultation : 11 août 2019).

MINISTERE DE LA DECENTRALISATION ET DE LA GOUVERNANCE LOCALE (s.d.), *Le département de l'Atacora*, [En ligne] <https://decentralisation.gouv.bj/departement-de-latacora/> (Dernière consultation : 11 août 2019).

MINISTERE DE LA DECENTRALISATION ET DE LA GOUVERNANCE LOCALE (s.d.), *Le département de l'Alibori*, [En ligne], <https://decentralisation.gouv.bj/departement-de-lalibori/> (Dernière consultation : 11 août 2019).

MKHABELA M., BULLOCK P., RAJ S., WANG S., YANG Y. (2001), "Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data", in *Agricultural and Forest Meteorology*, 151 (3), p. 385-

393.

MKHABELA M., MASHININI N. (2005), "Early maize yield forecasting in the four agro-ecological regions of Swaziland using NDVI data derived from NOAA'S-AVHRR", in *Agricultural and Forest Meteorology*, 129 (1-2), p. 1-9.

MODIS. (s. d.), *MODIS Vegetation Index Products (NDVI and EVI)*, [En ligne], <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php> (Dernière consultation : 2 juillet 2019).

MORIONDO M., MASELLI F., BINDI M. (2007), "A simple model of regional wheat yield based on NDVI data", in *European Journal of Agronomy*, 26(3), p. 266-274.

NAGO M. C., AOUJJI A., ASSOGBADJO A., TOSSA J. C., AZOKPOTA P. & NAGO KOUKOUBOU E. (2018), *Examen stratégique nationale « faim zéro » au Bénin à l'horizon 2030. Rapport final*.

ONU (1974), *Report of the World Food Conference*, Rome, United Nations.

ONU (2018), *Objectifs 2 : Éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable*, [En ligne], <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/hunger/> (Dernière consultation : 15 avril 2019).

PADILLA M. (1997), *La Sécurité Alimentaire des Villes Africaines : Le Rôle des SADA*, FAO.

PAM (2007), *Analyse et Cartographie de la Vulnérabilité : Comprendre le problème de la faim et en dresser la carte*, [En ligne], <https://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/newsroom/wfp142360.pdf> (Dernière consultation : 19 avril 2019).

PANGARIBOWO E. H., GERBER N., & TORERO M. (2013), *Food and Nutrition Security Indicators : a Review*, [En ligne], <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/88378/1/773397795.pdf> (Dernière consultation : 10 mai 2019).

PETERS A., Walter-SHEA E., VIÑA A., JI L., HAYES M. & SVOBODA M. (2002), "Drought Monitoring with NDVI-Based Standardized Vegetation Index", in *Photogrammetric Engineering &*

Remote Sensing, 68(1), p. 71-75.

PIETERS H., VANDEPLAS A., GUARISO A., FRANCKEN N., SARRIS A., SWINNEN J., TORERO M. (2012), *Perspectives on relevant concepts related to food and nutrition security* (N° Working paper 01).

PIRKLE C. (2014), *La sécurité alimentaire : histoire, concepts et indicateurs*, [En ligne], <https://www.researchgate.net/publication/266358815> (Dernière consultation : 17 avril 2019).

PNUD (2015), *Rapport national sur le développement humain 2015. Agriculture, sécurité alimentaire et développement humain au Bénin*.

PNUD (2018), *Indices et indicateurs de développement humain 2018. Mise à jour statistique*, [En ligne], http://hdr.undp.org/sites/default/files/2018_human_development_statistical_update_fr.pdf (Dernière consultation : 15 avril 2019).

QUARMBY N.A., MILNES M., HINDLE T.L., SILLEOS N. (1993), "The use of multitemporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction", in *International Journal of Remote Sensing*, 14 (2), p. 199-210.

REMBOLD F., KORPI K., & ROJAS O. (s. d.), *Guidelines for using Remote Sensing Derived Information in support of the IPC Analysis.*, [En ligne], http://www.ipcinfo.org/fileadmin/user_upload/ipcinfo/docs/1_RemoteSensedData_IPC_JRC_guidelines.pdf (Dernière consultation : 3 mars 2019).

REMBOLD F., MERONI M., URBANO F., CSAK G., KERDILES H., PEREZ-HOYOS A., LEMOINE G., LEO O., NEGRET T. (2019), "ASAP : A new global early warning system to detect anomaly hot spots of agricultural production for food security analysis", in *Agricultural Systems*, n°168, p. 247-257.

RONDEAU A. (1975), "La Conférence mondiale de l'Alimentation ou le triomphe de la rhétorique", in *Tiers-Monde*, 16(63), p. 671-684.

RPCA (2012), *Charte pour la Prévention et la Gestion des Crises Alimentaires au Sabel et en Afrique de l'Ouest*.

SAINA C., MURGOR D. & MURGOR F. (2013), "Climate Change and Food Security", In

Environmental Change and Sustainability, IntechOpen, p. 235 - 257.

SCARAMOZZINO P. (2006), *Measuring Vulnerability to Food Insecurity. ESA Working Paper No. 06-12*, [En ligne], https://www.researchgate.net/publication/5021774_Measuring_Vulnerability_to_Food_Insecurity (Dernière consultation : 24 avril 2019).

SIMIAND F. (1960), "Méthode historique et science sociale", in *Annales. Economies, sociétés, civilisations*, (1), p. 83-119.

SMETS B., EERENS H., JACOBS T. & TOTÉ C. (2015), *Product User Manual. Vegetation Condition Index (VPI). Vegetation Productivity Indicator (VPI)*, [En ligne], https://land.copernicus.eu/global/sites/cgls.vito.be/files/products/GIOGL1_PUM_VCI-VPI_I2.00.pdf (Dernière consultation : 20 avril 2019).

SRINIVASAN G. (2007), *Investigation of the utility of the vegetation condition index (VCI) as an indicator of drought*, [En ligne], <https://pdfs.semanticscholar.org/6b24/e729be961a7fb5bf51f8d8d65d39fe370816.pdf> (Dernière consultation : 20 avril 2019).

USHERBOOKE (s. d.), *Qu'est-ce que la télédétection*, [En ligne], <https://www.usherbrooke.ca/geomatique/programmes-detudes/par-discipline/teledetection/quest-ce-que-la-teledetection/> (Dernière consultation : 17 juin 2019).

VOGT J., VIAU A., BEAUDIN I., NIEMEYER S., & SOMMA F. (1998), *Drought monitoring from space using empirical indices and physical indicators*, présenté à Proceedings International Symposium on « Satellite-Based Observation : a Tool for the Study of the Mediterranean Basin », Tunis.

WOLTERS E., DIERCKX W., LORDACHE M.-D. & SWINNEN E. (2018), *PROBA-V Products User Manual*, [En ligne], http://proba-v.vgt.vito.be/sites/proba-v.vgt.vito.be/files/products_user_manual.pdf (Dernière consultation : 17 juin 2019).

WOLTERS E., SWINNEN E., TOTÉ C. & STERCKX S. (2016), *SPOT-VGT Collection 3. Products User Manual*, [En ligne], http://www.spot-vegetation.com/pages/SPOT_VGT_PUM_v1.0.pdf

(Dernière consultation : 17 juin 2019).

WORLD FOOD SUMMIT, (1996), *Rome Declaration on World Food Security*, [En ligne], <http://www.fao.org/3/w3613e/w3613e00.htm> (Dernière consultation : 20 avril 2019).

XUE J. & SU B. (2017), "Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications", in *Journal of Sensors*, [En ligne], <https://www.hindawi.com/journals/js/2017/1353691/> (Dernière consultation : 29 juin 2019).

YANG Z., YU G., DI L. & CHEN Z. (2011), *Vegetation condition indices for crop vegetation condition monitoring*, Présenté à 2011 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Vancouver, [En ligne] https://www.researchgate.net/publication/220821060_Vegetation_condition_indices_for_crop_vegetation_condition_monitoring (Dernière consultation : 27 juin 2019).

ANNEXES

I. RENDEMENTS AGRICOLES : MAÏS ET MANIOC (1998 – 2016)

Rendements des cultures de maïs (kg/ha) par département et par commune (1998 - 2016)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Atlantique	849	1095	947	971	1157	1000	1001	1128	1354	1278	1255	1265	942	1617	1289	1157	1284	984	1013
Abomey-Calavi	667	1179	793	849	1039	897	946	1127	1255	1392	1650	1442	1267	1915	1444	1528	1461	998	1036
Sô-Ava	877	714	1471	3659	1440	855	637	1279	1533	1595	1107	1735	1038	2791	1691	1682	1218	1398	1560
Tori-Bossito	493	805	654	987	832	767	725	807	921	729	1093	808	586	1033	1039	1031	1008	941	939
Collines	975	843	954	831	1008	934	1089	812	816	932	1009	1000	1090	1214	978	847	942	986	933
Dassa-Zounmè	917	908	861	614	830	828	952	982	623	998	845	911	1162	1100	963	919	945	952	922
Glazoué	1189	995	1002	863	895	853	1152	604	677	808	1067	959	807	1161	855	798	911	1042	958
Savè	874	844	972	881	1027	946	989	1084	1027	909	860	961	1112	1169	950	880	896	975	966
Atacora	1343	1448	1431	1258	1314	1200	1317	1397	1528	1205	1540	1417	987	1790	1810	2072	2160	1874	2137
Boukoubé	1407	1485	1294	1000	1051	1019	1186	1033	946	809	1015	894	631	1108	1339	1687	1728	1858	1855
Cobli	1860	1963	1463	1469	1611	1622	1647	1703	1763	1817	2368	2110	1113	2643	1988	1890	1813	1554	1592
Tanguiéta	1429	1436	1476	1400	1595	1753	1616	1621	1716	992	1766	1476	764	1838	1414	1492	1512	1922	1704
Alibori	1488	1580	1535	1462	1394	1468	1582	1363	1440	1315	1371	1412	1624	1703	1370	1615	1502	1287	1471
Banikoara	1442	1207	1103	1178	1194	1468	1455	1501	1376	917	1435	1386	1503	1630	1400	1633	1143	893	1021
Karimama	1060	1007	909	897	959	889	759	759	1066	1050	1143	1325	986	1646	1176	1327	1334	1179	1465
Malanville	1004	1024	1092	1103	1000	1073	1139	1162	1182	746	1024	1344	1104	1675	1260	1497	1511	1333	1835

Figure 41 - Rendements des cultures de maïs par départements et par communes (1998 - 2016) (INSAE, 2018)

Rendements des cultures de manioc (kg/ha) par département et par commune (1998 - 2016)

	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Atlantique	9566	10106	9573	9700	13694	15287	15527	408	17467	18201	17696	17322	10938	20392	17510	15678	18352	15133	15700
Abomey-Calé	6986	8824	6858	7520	12883	14757	14960	551	20700	20697	20000	18603	12606	21899	17460	18242	18285	16229	16930
Sô-Ava	6507	6854	8657	5324	8500	7147	6939	12000	12000	12000	9156	12199	1026	14358	220000	22000	30000	27000	26814
Tori-Bossito	8775	8399	8003	10571	12754	16477	16477	140	20366	21283	18982	7850	7850	25831	18546	11236	10472	10472	11658
Collines	7832	9141	7868	8145	8626	9516	13152	10090	9533	16579	9550	16532	12432	19461	13314	12846	12724	12912	12987
Dassa-Zoumn	6429	6818	5129	7005	10988	12041	14765	11008	9347	12995	16561	18185	14302	21407	14537	14092	13281	13527	13451
Glazoué	8328	8728	6000	7419	8878	10040	8953	9523	8848	16844	13334	20792	13878	24475	13051	12549	12811	13257	13110
Savè	9112	9614	13783	11349	13524	14507	16823	11352	12425	14187	637	702	11367	830	12953	12163	11876	13150	12839
Atacora	9316	9521	12166	10973	11861	13492	11750	11875	10500	10077	11863	10063	13420	11848	12188	14752	15213	6786	15408
Boukoubé	6000	5200	5895	6000	6333	6346	7000	7000	6500	6000	6514	6291	6394	7400	6646	6385	6372	6600	6545
Cobli	9000	7997	9000	9000	10000	12000	12000	12000	5000	5000	7000	5537	6697	6516	5971	5898	5847	7000	6276
Tanguiéta	9629	9158	10650	10000	10000	12000	12000	12000	12502	12000	12504	12377	12215	14570	12937	12349	12340	6106	9962
Alibori	4910	5629	5362	6114	6263	8652	8818	9482	7322	4322	8578	8785	7451	10356	7955	9902	9939	14101	14322
Banikoara	4000	4500	5000	5342	6000	7500	6000	7000	6000	421	6285	7309	5502	8604	4478	7427	7455	15000	12000
Karimama	4000	6500	6467	5984	6485	0	9500	9500	8704	0	13010	11241	7500	13083	3184	3500	3500	15000	13000
Malanville	4000	5699	6080	10063	6741	10843	11947	11947	9733	7151	10000	9447	8631	11263	3284	3500	3500	7500	8000

Figure 42 - Rendements des cultures de manioc par département et par commune (1998 - 2016) (INSAE, 2018)

II. RÉSULTATS DÉTAILLÉS DE L'IDENTIFICATION DE CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES DÉRIVÉES DU S_{NDVI} ET LES RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC

A. AUGMENTATION LA PLUS IMPORTANTE ENTRE DEUX PÉRIODES SUBSÉQUENTES (ADN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	80,92	183,60	195,19	Oui
	Manioc	31	/	0	1,22	492,68	512,63	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	3,42	368,84	414,44	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	43,16	2062,20	1997,87	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	6,91	291,21	300,68	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	54,29	1633,78	1605,21	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	49,43	217,94	207,13	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	44,65	2785,61	2658,86	Non
	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	54,01	177,53	185,68	Non

Karimama	Manioc	31	/	0	7,03	4601,27	4605,77	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	50,10	204,33	215,30	Oui
	Manioc	31	/	0	6,74	2929,82	3003,01	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	49,39	293,88	311,64	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	33,50	4968,16	5249,58	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	9,08	738,11	740,79	Non
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	76,69	4643,58	4978,07	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	0,71	151,42	155,48	Oui
	Manioc	25	/	0	0	6439,66	6690,46	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	1,48	138,91	150,30	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	69,18	2670,08	2670,73	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	7,92	152,66	153,83	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	32,56	4102,75	4354,55	Non
Savè	Maïs	25	/	0	10,26	91,33	90,16	Oui
	Manioc	25	/	0	2,14	5020,99	5302,88	Non

B. DIMINUTION LA PLUS IMPORTANTE ENTRE DEUX PÉRIODES SUBSÉQUENTES (AUP)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	81,67	183,60	194,87	Oui
	Manioc	31	/	0	5,90	492,68	500,77	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	0,10	368,84	388,93	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	37,17	2062,20	2183,28	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	15,51	291,21	293,76	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	49,86	1633,78	1734,05	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	31,29	217,94	226,41	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	41,75	2785,61	2699,49	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	54,52	177,53	195,15	Non
	Manioc	31	/	0	9,43	4601,27	4679,96	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	51,48	204,33	214,55	Oui
	Manioc	31	/	0	13,06	2929,82	2921,26	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	49,28	293,88	330,64	Non

	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	37,33	4968,16	5171,67	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	55,80	738,11	561,41	Non
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	76,61	4643,58	4841,09	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	24,47	151,42	135,10	Oui
	Manioc	25	/	0	1,51	6439,66	7016,66	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	17,24	138,91	128,24	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	75,21	2670,08	2673,61	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	4,14	152,66	158,40	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	33,37	4102,75	4399,67	Non
Savè	Maïs	25	/	0	1,40	91,33	118,38	Oui
	Manioc	25	/	0	32,74	5020,99	4297,21	Non

C. VALEURS MOYENNES (VAV)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	81,66	183,60	198,62	Oui
	Manioc	31	/	0	18,51	492,68	496,46	Oui

Cobli	Maïs	31	/	0	10,15	368,84	374,72	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	35,69	2062,20	2196,02	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	6,63	291,21	298,13	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	69,57	1633,78	1555,05	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	39,27	217,94	224,82	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	34,53	2785,61	3110,11	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	58,90	177,53	220,42	Non
	Manioc	31	/	0	13,28	4601,27	4553,23	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	55,33	204,33	206,47	Oui
	Manioc	31	/	0	3,40	2929,82	3082,95	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	49,83	293,88	300,95	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	33,57	4968,16	5554,31	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	23,03	738,11	686,73	Non
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	81,35	4643,58	5080,38	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	8,96	151,42	152,00	Oui
	Manioc	25	/	0	0,36	6439,66	6951,84	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0	138,91	150,35	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	67,97	2670,08	2813,89	Non
	Maïs	25	/	0	8,14	152,66	153,52	Oui

Glazoué	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	33,36	4102,75	4242,93	Non
Savè	Maïs	25	/	0	1,69	91,33	96,76	Oui
	Manioc	25	/	0	6,82	5020,99	5330,82	Non

D. VALEUR MINIMALE (VMN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	80,80	183,60	188,84	Oui
	Manioc	31	/	0	0,03	492,68	514,12	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	5,53	368,84	379,98	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	37,78	2062,20	2130,63	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	30,13	291,21	257,70	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	56,55	1633,78	2084,01	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	38,30	217,94	223,64	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	38,55	2785,61	2983,99	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	53,97	177,53	186,42	Non
	Manioc	31	/	0	16,07	4601,27	4497,27	Non
	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	49,92	204,33	230,67	Oui

Malanville	Manioc	31	/	0	7,84	2929,82	3043,57	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	49,24	293,88	307,93	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	34,12	4968,16	5266,38	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	12,59	738,11	716,73	Non
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	79,42	4643,58	5035,08	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	3,32	151,42	152,34	Oui
	Manioc	25	/	0	0,11	6439,66	6655,54	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0,69	138,91	148,48	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	68,44	2670,08	2748,89	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	11,76	152,66	151,29	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	32,63	4102,75	4367,28	Non
Savè	Maïs	25	/	0	6,49	91,33	93,09	Oui
	Manioc	25	/	0	4,69	5020,99	5198,42	Non

E. VALEUR MAXIMALE (VMX)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	82,61	183,60	199,04	Oui

Boukombé	Manioc	31	/	0	10,46	492,68	479,53	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	0,20	368,84	369,10	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	45,76	2062,20	1958,31	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	17,51	291,21	289,59	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	51,78	1633,78	1639,60	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	34,75	217,94	230,59	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	54,05	2785,61	2612,20	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	53,95	177,53	249,96	Non
	Manioc	31	/	0	0,01	4601,27	5196,49	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	50,20	204,33	249,84	Oui
	Manioc	31	/	0	2,77	2929,82	3111,78	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	53,54	293,88	307,40	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	34,82	4968,16	5474,42	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	1,67	738,11	764,81	Non
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	79,80	4643,58	5318,41	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	6,26	151,42	155,56	Oui
	Manioc	25	/	0	0,21	6439,66	7027,80	Non

Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	10,94	138,91	140,93	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	65,99	2670,08	2743,59	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	1,45	152,66	163,50	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	32,58	4102,75	4350,19	Non
Savè	Maïs	25	/	0	2,49	91,33	93,70	Oui
	Manioc	25	/	0	0,09	5020,99	5172,61	Non

F. DÉVIATION STANDARD (RSD)

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	81,12	183,60	192,81	Oui
	Manioc	31	/	0	0,66	492,68	524,87	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	2,32	368,84	396,41	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	38,04	2062,20	2102,90	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	35,69	291,21	255,22	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	65,29	1633,78	1782,51	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	38,44	217,94	218,38	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	58,90	2785,61	2369,52	Non

Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	53,95	177,53	191,71	Non
	Manioc	31	/	0	15,24	4601,27	4473,35	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	50,19	204,33	245,32	Oui
	Manioc	31	/	0	0,15	2929,82	3030,81	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	49,38	293,88	305,00	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	33,42	4968,16	5297,71	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	11,72	738,11	715,88	Non
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	78,93	4643,58	4949,16	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	3,63	151,42	152,43	Oui
	Manioc	25	/	0	0,10	6439,66	6712,51	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	1,60	138,91	147,63	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	68,83	2670,08	2678,94	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	6,66	152,66	153,03	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	32,71	4102,75	4349,29	Non
Savè	Maïs	25	/	0	6,25	91,33	92,21	Oui
	Manioc	25	/	0	3,51	5020,99	5281,55	Non

G. ÉTENDUE RELATIVE (RRG)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	81,36	183,60	189,87	Oui
	Manioc	31	/	0	1,59	492,68	498,59	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	3,39	368,84	389,07	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	40,46	2062,20	2049,37	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	39,65	291,21	242,71	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	56,77	1633,78	1971,11	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	41,84	217,94	209,61	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	54,62	2785,61	2494,15	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	53,97	177,53	186,20	Non
	Manioc	31	/	0	14,42	4601,27	4517,03	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	50,15	204,33	252,24	Oui
	Manioc	31	/	0	0,81	2929,82	3137,08	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	49,27	293,88	311,26	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	33,66	4968,16	5208,26	Non
	Maïs	25	/	0	9,38	738,11	723,92	Non

Sô-Ava	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	77,82	4643,58	4951,81	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	1,80	151,42	153,34	Oui
	Manioc	25	/	0	0,06	6439,66	6642,31	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	2,16	138,91	146,86	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	68,36	2670,08	2699,09	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	7,94	152,66	153,46	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	32,60	4102,75	4398,29	Non
Savè	Maïs	25	/	0	6,70	91,33	92,37	Oui
	Manioc	25	/	0	3,92	5020,99	5223,27	Non

H. DATE RELATIVE DU PREMIER VMN (DMN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	80,92	183,60	188,13	Oui
	Manioc	31	/	0	7,21	492,68	493,27	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	1,89	368,84	379,19	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	36,46	2062,20	2133,11	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	3,41	291,21	309,76	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	51,13	1633,78	1679,31	Oui

Banikoara	Maïs	31	/	30,49	33,99	217,94	236,35	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	32,77	2785,61	3132,35	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	54,08	177,53	185,29	Non
	Manioc	31	/	0	0,01	4601,27	5380,22	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	50,22	204,33	223,88	Oui
	Manioc	31	/	0	4,86	2929,82	3029,67	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	54,21	293,88	319,37	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	33,43	4968,16	5130,39	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	1,52	738,11	797,67	Non
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	76,71	4643,58	4738,16	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	0,02	151,42	161,82	Oui
	Manioc	25	/	0	0,32	6439,66	6636,49	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0	138,91	151,11	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	68,45	2670,08	2675,67	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	3,26	152,66	159,02	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	33,38	4102,75	4296,46	Non
Savè	Maïs	25	/	0	11,51	91,33	89,21	Oui
	Manioc	25	/	0	0,02	5020,99	5196,88	Non

I. DATE RELATIVE DU DERNIER VMX (DMX)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	81,39	183,60	183,53	Oui
	Manioc	31	/	0	1,19	492,68	536,05	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	2,76	368,84	379,88	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	37,22	2062,20	2229,32	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,04	291,21	307,23	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	60,29	1633,78	1598,29	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	32,40	217,94	222,30	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	32,16	2785,61	2950,10	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	55,85	177,53	193,97	Non
	Manioc	31	/	0	0,06	4601,27	4919,56	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	52,79	204,33	215,00	Oui
	Manioc	31	/	0	1,64	2929,82	3040,78	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	51,98	293,88	309,09	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	34,67	4968,16	5208,42	Non
	Maïs	25	/	0	8,79	738,11	731,74	Non

Sô-Ava	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	77,07	4643,58	4876,62	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	24,38	151,42	135,66	Oui
	Manioc	25	/	0	0,94	6439,66	6687,94	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	3,28	138,91	145,85	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	68,90	2670,08	2902,51	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	3,47	152,66	163,30	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	40,13	4102,75	4529,85	Non
Savè	Maïs	25	/	0	54,33	91,33	62,92	Oui
	Manioc	25	/	0	10,00	5020,99	5786,35	Non

J. DATE RELATIVE DU PREMIER AUP (DUP)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	82,18	183,60	187,95	Oui
	Manioc	31	/	0	10,90	492,68	482,73	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	1,92	368,84	382,49	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	35,78	2062,20	2199,88	Non
	Maïs	31	/	0	3,19	291,21	306,22	Oui

Tanguiéta	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	52,47	1633,78	1619,87	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	31,02	217,94	227,70	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	38,52	2785,61	2797,21	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	61,77	177,53	186,58	Non
	Manioc	31	/	0	2,65	4601,27	4959,87	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	54,09	204,33	205,25	Oui
	Manioc	31	/	0	24,00	2929,82	2696,37	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	51,18	293,88	348,25	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	33,42	4968,16	5496,68	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	49,77	738,11	604,52	Non
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	76,26	4643,58	4881,86	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	23,86	151,42	140,73	Oui
	Manioc	25	/	0	8,24	6439,66	7113,66	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	4,09	138,91	145,97	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	73,41	2670,08	2773,67	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	0,75	152,66	159,30	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	33,30	4102,75	4324,24	Non
Savè	Maïs	25	/	0	0,54	91,33	101,20	Oui
	Manioc	25	/	0	4,91	5020,99	5247,94	Non

K. DATE RELATIVE DU DERNIER ADN (DDN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999 – 2018)	80,66	81,30	183,60	182,06	Oui
	Manioc	31	/	0	1,13	492,68	549,53	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	17,98	368,84	360,18	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	35,64	37,61	2062,20	2147,78	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	4,74	291,21	304,66	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1998 – 2016)	49,80	53,07	1633,78	1681,48	Oui
Banikoara	Maïs	31	/	30,49	32,21	217,94	224,66	Non
	Manioc	31	Linéaire (1998 – 2016)	31,85	34,78	2785,61	2914,92	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	53,95	55,91	177,53	187,41	Non
	Manioc	31	/	0	2,48	4601,27	4952,14	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1998 – 2016)	49,88	52,49	204,33	224,13	Oui
	Manioc	31	/	0	0,03	2929,82	3113,33	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1998 – 2016)	49,16	49,63	293,88	322,78	Non
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	33,41	33,43	4968,16	5312,55	Non
	Maïs	25	/	0	45,25	738,11	582,03	Non

Sô-Ava	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	76,20	78,12	4643,58	5072,00	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	Linéaire (1998 – 2016)	0	19,73	151,42	143,93	Oui
	Manioc	25	/	0	2,04	6439,66	7305,90	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	13,23	138,91	149,17	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1998 – 2016)	65,27	66,27	2670,08	3011,44	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	0,01	152,66	170,10	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1998 – 2016)	32,55	44,65	4102,75	4132,91	Non
Savè	Maïs	25	/	0	3,53	91,33	99,50	Oui
	Manioc	25	/	0	14,61	5020,99	4936,55	Non

III. RÉSULTATS DÉTAILLÉS DE L'IDENTIFICATION DE CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES DÉRIVÉES DU VCI ET LES RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC

A. AUGMENTATION LA PLUS IMPORTANTE ENTRE DEUX PÉRIODES SUBSÉQUENTES (ADN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	80,21	191,47	206,87	Oui
	Manioc	31	/	0	0,36	394,29	681,64	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	6,16	377,60	384,00	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	40,86	2051,27	2364,88	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	10,69	299,72	305,53	Oui
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	85,23	1719,69	1124,28	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	32,87	216,42	243,69	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	30,44	2884,65	3446,87	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	59,01	173,62	211,54	Oui
	Manioc	31	/	0	7,02	4742,72	5076,81	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	49,06	209,91	283,40	Oui
	Manioc	31	/	0	2,63	2958,96	3181,65	Non
	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	73,60	215,14	322,78	Non

Abomey-Calavi	Manioc	25	/	0	1,42	5895,36	8634,23	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	0,13	731,38	1886,89	Non
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	75,66	4796,14	5262,81	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	2,90	155,32	172,26	Oui
	Manioc	25	/	0	3,23	6527,03	7122,42	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0,11	143,44	241,47	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	62,95	2623,20	3145,80	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	0,31	156,07	364,28	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	34,10	4228,63	4459,18	Non
Savè	Maïs	25	/	0	2,51	88,25	198,79	Oui
	Manioc	25	/	0	0,25	5175,23	7191,50	Non

B. DIMINUTION LA PLUS IMPORTANTE ENTRE DEUX PÉRIODES SUBSÉQUENTES (AUP)

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	80,20	191,47	236,55	Oui
	Manioc	31	/	0	4,52	394,29	475,80	Oui
	Maïs	31	/	0	2,22	377,60	594,20	Non

Cobli	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	40,77	2051,27	2165,76	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,01	299,72	302,81	Oui
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	45,20	1719,69	3042,23	Non
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	36,47	216,42	253,38	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	30,97	2884,65	2923,92	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	59,94	173,62	208,20	Oui
	Manioc	31	/	0	0,39	4742,72	5663,22	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	49,99	209,91	239,41	Oui
	Manioc	31	/	0	11,35	2958,96	3554,12	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	71,58	215,24	243,32	Non
	Manioc	25	/	0	8,02	5895,36	6067,76	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	2,65	731,38	846,91	Non
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	75,63	4796,14	5033,29	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	16,61	155,32	147,85	Oui
	Manioc	25	/	0	2,05	6527,03	6641,87	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	8,49	143,44	148,19	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	67,64	2623,20	2558,40	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	4,55	156,07	166,68	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	31,77	4228,63	4923,63	Non

Savè	Maïs	25	/	0	56,15	88,25	63,23	Oui
	Manioc	25	/	0	1,46	5175,23	5639,28	Non

C. VALEURS MOYENNES (VAV)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	80,44	191,47	203,58	Oui
	Manioc	31	/	0	4,99	394,29	401,34	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	13,28	377,60	386,13	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	41,25	2051,27	2149,49	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	11,67	299,72	299,11	Oui
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	59,41	1719,69	1713,93	Non
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	44,48	216,42	226,69	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	31,61	2884,65	3235,51	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	60,69	173,62	222,46	Oui
	Manioc	31	/	0	20,18	4742,72	4391,43	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	53,95	209,91	212,58	Oui
	Manioc	31	/	0	4,42	2958,96	3076,65	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	70,76	215,24	237,15	Non
	Manioc	25	/	0	7,46	5895,36	6014,82	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	3,53	731,38	749,00	Non
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	79,26	4796,14	5522,15	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	1,31	155,32	174,33	Oui
	Manioc	25	/	0	0,20	6527,03	7114,15	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	9,22	143,44	147,52	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	62,61	2623,20	2807,05	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	2,02	156,07	170,18	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	30,12	4228,63	4370,69	Non
Savè	Maïs	25	/	0	13,97	88,25	88,54	Oui
	Manioc	25	/	0	7,56	5175,23	5319,54	Non

D. VALEUR MAXIMALE (VMX) : NORD-BÉNIN

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	81,96	191,47	222,89	Oui
	Manioc	31	/	0	25,39	394,29	362,94	Oui

Cobli	Maïs	31	/	0	4,15	377,60	393,41	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	42,29	2051,27	2330,96	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,39	299,72	304,51	Oui
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	46,83	1719,69	1874,78	Non
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	33,47	216,42	282,34	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	38,75	2884,65	3410,22	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	68,79	173,62	207,16	Oui
	Manioc	31	/	0	11,91	4742,72	4561,15	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	61,30	209,91	190,56	Oui
	Manioc	31	/	0	4,35	2958,96	3382,95	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	70,32	215,24	262,35	Non
	Manioc	25	/	0	6,52	5895,36	5910,69	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	3,01	731,38	774,16	Non
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	76,27	4796,14	5079,82	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	1,68	155,32	168,58	Oui
	Manioc	25	/	0	0,06	6527,03	7067,88	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	38,05	143,44	122,56	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	69,46	2623,20	2502,60	Non
	Maïs	25	/	0	23,04	156,07	150,37	Oui

Glazoué	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	34,83	4228,63	4314,50	Non
Savè	Maïs	25	/	0	15,55	88,25	87,78	Oui
	Manioc	25	/	0	2,67	5175,23	5475,85	Non

E. DÉVIATION STANDARD (RSD)

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	89,45	191,47	160,74	Oui
	Manioc	31	/	0	21,08	394,29	370,14	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	3,05	377,60	385,35	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	42,95	2051,27	2188,16	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	10,04	299,72	297,98	Oui
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	63,16	1719,69	1884,57	Non
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	34,24	216,42	227,54	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	40,13	2884,65	2896,49	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	76,75	173,62	153,23	Oui
	Manioc	31	/	0	0,15	4742,72	5146,12	Non
	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	61,97	209,91	196,51	Oui

Malanville	Manioc	31	/	0	0,10	2958,96	3162,37	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	70,08	215,24	251,46	Non
	Manioc	25	/	0	7,25	5895,36	5880,77	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	3,38	731,38	761,52	Non
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	77,60	4796,14	5411,09	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	1,03	155,32	171,91	Oui
	Manioc	25	/	0	0,01	6527,03	7105,95	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	29,15	143,44	129,81	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	64,47	2623,20	2668,88	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	7,85	156,07	164,44	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	30,17	4228,63	4442,75	Non
Savè	Maïs	25	/	0	3,62	88,25	92,54	Oui
	Manioc	25	/	0	3,56	5175,23	5323,94	Non

F. ÉTENDUE RELATIVE (RRG)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	81,97	191,47	223,88	Oui

Boukombé	Manioc	31	/	0	25,75	394,29	362,40	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	4,21	377,60	393,09	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	42,29	2051,27	2334,76	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,21	299,72	305,07	Oui
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	46,92	1719,69	1872,18	Non
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	33,10	216,42	250,42	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	34,64	2884,65	3081,42	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	73,90	173,62	169,23	Oui
	Manioc	31	/	0	12,68	4742,72	4534,95	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	59,13	209,91	198,27	Oui
	Manioc	31	/	0	1,64	2958,96	3176,82	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	70,32	215,24	262,72	Non
	Manioc	25	/	0	6,44	5895,36	5913,04	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	2,98	731,38	774,20	Non
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	76,27	4796,14	5080,17	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	1,64	155,32	168,71	Oui
	Manioc	25	/	0	0,05	6527,03	7068,42	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	38,16	143,44	122,39	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	69,46	2623,20	2503,42	Non

Glazoué	Maïs	25	/	0	23,01	156,07	150,42	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	34,83	4228,63	4312,94	Non
Savè	Maïs	25	/	0	15,42	88,25	87,83	Oui
	Manioc	25	/	0	2,79	5175,23	5474,19	Non

G. DATE RELATIVE DU PREMIER VMN (DMN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	80,88	191,47	194,23	Oui
	Manioc	31	/	0	6,41	394,29	408,81	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	0,46	377,60	398,19	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	40,90	2051,27	2435,52	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	34,16	299,72	268,92	Oui
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	54,53	1719,69	2015,77	Non
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	41,87	216,42	211,95	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	49,73	2884,65	2758,10	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	57,90	173,62	181,59	Oui
	Manioc	31	/	0	0,92	4742,72	5034,95	Non

Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	48,95	209,91	222,90	Oui
	Manioc	31	/	0	3,96	2958,96	3128,72	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	70,14	215,24	245,25	Non
	Manioc	25	/	0	0,48	5895,36	6217,76	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	0,07	731,38	752,73	Non
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	79,86	4796,14	4808,42	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	1,36	155,32	162,80	Oui
	Manioc	25	/	0	0,58	6527,03	6860,37	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0,91	143,44	148,92	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	62,61	2623,20	2730,68	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	7,15	156,07	160,02	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	30,86	4228,63	4338,28	Non
Savè	Maïs	25	/	0	0,04	88,25	91,80	Oui
	Manioc	25	/	0	4,34	5175,23	5315,86	Non

H. DATE RELATIVE DU DERNIER VMX (DMX)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	80,08	191,47	199,26	Oui
	Manioc	31	/	0	1,35	394,29	398,40	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	2,23	377,60	389,53	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	42,71	2051,27	2094,46	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	19,69	299,72	288,14	Oui
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	52,70	1719,69	1746,53	Non
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	34,30	216,42	238,99	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	32,68	2884,65	3051,15	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	58,06	173,62	180,58	Oui
	Manioc	31	/	0	24,68	4742,72	4348,55	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	49,24	209,91	223,79	Oui
	Manioc	31	/	0	7,74	2958,96	3012,89	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	70,56	215,24	231,67	Non
	Manioc	25	/	0	3,65	5895,36	5928,61	Non
	Maïs	25	/	0	0,09	731,38	761,67	Non

Sô-Ava	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	80,58	4796,14	4984,01	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	5	155,32	156,01	Oui
	Manioc	25	/	0	9,53	6527,03	6627,75	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	1,40	143,44	150,43	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	71,48	2623,20	2578,65	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	10,10	156,07	159,69	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	45,45	4228,63	4412,65	Non
Savè	Maïs	25	/	0	41,26	88,25	73,17	Oui
	Manioc	25	/	0	6,51	5175,23	5630,57	Non

I. DATE RELATIVE DU PREMIER AUP (DUP)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	80,07	191,47	208,23	Oui
	Manioc	31	/	0	2,15	394,29	410,13	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	3,06	377,60	387,53	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	40,73	2051,27	2133,67	Non
	Maïs	31	/	0	1,03	299,72	312,64	Oui

Tanguiéta	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	67,59	1719,69	1504,49	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	34,13	216,42	244,88	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	36,17	2884,65	3065,49	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	58,19	173,62	192,02	Oui
	Manioc	31	/	0	7,25	4742,72	4890,46	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	49,97	209,91	236,84	Oui
	Manioc	31	/	0	0,76	2958,96	3230,47	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	70,79	215,24	228,00	Non
	Manioc	25	/	0	8,94	5895,36	5807,53	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	0,30	731,38	754,93	Non
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	77,81	4796,14	5036,28	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	1,37	155,32	158,07	Oui
	Manioc	25	/	0	6,74	6527,03	6694,33	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0,20	143,44	149,77	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	65,63	2623,20	2899,73	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	0,74	156,07	171,69	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	34,53	4228,63	4835,69	Non
Savè	Maïs	25	/	0	23,68	88,25	85,09	Oui
	Manioc	25	/	0	3,55	5175,23	5519,58	Non

J. DATE RELATIVE DU DERNIER ADN (DDN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	80,07	80,66	191,47	195,31	Oui
	Manioc	31	/	0	1,25	394,29	406,82	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	15,67	377,60	362,84	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	40,69	41,59	2051,27	2120,73	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,98	299,72	306,82	Oui
	Manioc	31	Quadratique (2000-2016)	45,20	68,01	1719,69	1435,48	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (2000-2016)	32,93	38,81	216,42	267,58	Non
	Manioc	31	Linéaire (2000-2016)	29,64	47,17	2884,65	2739,52	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	57,90	58,49	173,62	187,49	Oui
	Manioc	31	/	0	14,38	4742,72	4601,72	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2000-2016)	48,95	49,22	209,91	223,29	Oui
	Manioc	31	/	0	5,14	2958,96	3240,32	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2000-2016)	70,07	71,00	215,24	226,92	Non
	Manioc	25	/	0	0,87	5895,36	6054,09	Non
	Maïs	25	/	0	0	731,38	769,35	Non

Sô-Ava	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	75,62	79,32	4796,14	4951,37	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	1,94	155,32	158,25	Oui
	Manioc	25	/	0	9,94	6527,03	6592,87	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	7,33	143,44	149,49	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2000-2016)	62,61	66,26	2623,20	2750,76	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	0,26	156,07	167,26	Oui
	Manioc	25	Linéaire (2000-2016)	30,04	39,31	4228,63	4340,88	Non
Savè	Maïs	25	/	0	23,73	88,25	84,40	Oui
	Manioc	25	/	0	6,04	5175,23	5453,07	Non

IV. RÉSULTATS DÉTAILLÉS DE L'IDENTIFICATION DE CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES DÉRIVÉES DE L'ICN ET LES RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC

A. AUGMENTATION LA PLUS IMPORTANTE ENTRE DEUX PÉRIODES SUBSÉQUENTES (ADN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	80,67	183,60	196,00	Oui
	Manioc	31	/	0	0,59	492,68	514,30	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	1,67	368,84	392,37	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	35,89	2062,20	2097,09	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	17,85	291,21	280,42	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	53,42	1633,78	1622,75	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	30,74	217,94	224,14	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	32,25	2785,61	3054,89	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	54,75	177,53	184,63	Oui
	Manioc	31	/	0	3,43	4601,27	4802,87	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	58,81	204,33	206,76	Oui
	Manioc	31	/	0	3,28	2929,82	3262,92	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	52,43	293,88	317,51	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	33,78	4968,16	5188,16	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	5,49	738,11	786,59	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	74,46	4643,58	5163,07	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	9,75	151,42	154,73	Oui
	Manioc	25	/	0	1,96	6439,66	6703,31	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	1,02	138,91	159,86	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	65,81	2670,08	2782,47	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	4,06	152,66	161,47	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	33,28	4102,75	4195,61	Non
Savè	Maïs	25	/	0	2,74	91,33	93,16	Oui
	Manioc	25	/	0	1,96	5020,99	5114,87	Non

B. DIMINUTION LA PLUS IMPORTANTE ENTRE DEUX PÉRIODES SUBSÉQUENTES (AUP)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	81,10	183,60	188,89	Oui
	Manioc	31	/	0	0,12	492,68	515,63	Oui

Cobli	Maïs	31	/	0	0,04	368,84	374,52	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	38,09	2062,20	2282,26	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	15,57	291,21	284,68	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	51,90	1633,78	1727,72	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	33,08	217,94	218,70	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	31,91	2785,61	2915,33	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	54,88	177,53	182,63	Oui
	Manioc	31	/	0	2,69	4601,27	4814,11	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	54,36	204,33	212,12	Oui
	Manioc	31	/	0	6,12	2929,82	3226,79	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	49,30	293,88	310,49	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	33,54	4968,16	5180,54	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	8,76	738,11	769,08	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	76,48	4643,58	5311,75	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	20,40	151,42	141,27	Oui
	Manioc	25	/	0	0,05	6439,66	6689,03	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0,05	138,91	145,61	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	65,93	2670,08	2820,37	Non
	Maïs	25	/	0	0,55	152,66	162,60	Oui

Glazoué	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	34,61	4102,75	4552,90	Non
Savè	Maïs	25	/	0	25,56	91,33	86,54	Oui
	Manioc	25	/	0	1,25	5020,99	5976,96	Non

C. VALEURS MOYENNES (VAV)

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	81,13	183,60	192,00	Oui
	Manioc	31	/	0	12,19	492,68	508,41	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	12,33	368,84	380,04	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	35,92	2062,20	2189,39	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	8,45	291,21	299,48	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	76,68	1633,78	1428,61	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	33,11	217,94	236,45	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	34,73	2785,61	2969,88	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	58,12	177,53	203,44	Oui
	Manioc	31	/	0	7,41	4601,27	4785,70	Non
	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	51,54	204,33	211,38	Oui

Malanville	Manioc	31	/	0	6,61	2929,82	2985,52	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	53,93	293,88	296,24	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	33,86	4968,16	5805,56	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	8,58	738,11	736,34	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	80,97	4643,58	4654,17	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	1,71	151,42	159,69	Oui
	Manioc	25	/	0	0,19	6439,66	7253,43	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0	138,91	145,50	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	65,52	2670,08	2889,97	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	4,71	152,66	167,47	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	33,05	4102,75	4168,70	Non
Savè	Maïs	25	/	0	18,53	91,33	88,70	Oui
	Manioc	25	/	0	0,35	5020,99	5418,83	Non

D. VALEURS MAXIMALES (VMX)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	82,33	183,60	198,33	Oui
	Manioc	31	/	0	0,39	492,68	647,32	Oui

Cobli	Maïs	31	/	0	0,12	368,84	395,10	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	44,63	2062,20	1983,49	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	14,10	291,21	292,80	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	50,30	1633,78	1653,92	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	34,96	217,94	229,54	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	49,92	2785,61	2679,86	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	53,97	177,53	250,60	Oui
	Manioc	31	/	0	0,29	4601,27	5084,76	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	50,09	204,33	245,18	Oui
	Manioc	31	/	0	2,38	2929,82	3129,96	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	54,24	293,88	311,74	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	34,10	4968,16	5524,87	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	5,86	738,11	759,77	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	79,43	4643,58	5426,55	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	8,54	151,42	152,41	Oui
	Manioc	25	/	0	0,67	6439,66	7040,07	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	9,73	138,91	141,17	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	66,23	2670,08	2722,56	Non
	Maïs	25	/	0	5,35	152,66	159,78	Oui

Glazoué	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	32,64	4102,75	4332,22	Non
Savè	Maïs	25	/	0	1,62	91,33	94,61	Oui
	Manioc	25	/	0	0,14	5020,99	5162,92	Non

E. DÉVIATION STANDARD (RSD)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 10%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	83,15	183,60	181,46	Oui
	Manioc	31	/	0	4,17	492,68	497,86	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	0,07	368,84	396,77	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	36,78	2062,20	2303,85	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	29,25	291,21	268,94	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	59,43	1633,78	1751,74	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	30,56	217,94	232,05	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	48,01	2785,61	2780,72	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	54,07	177,53	192,97	Oui
	Manioc	31	/	0	3,23	4601,27	4761,51	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	51,85	204,33	223,37	Oui
	Manioc	31	/	0	1,66	2929,82	3046,07	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	49,83	293,88	320,20	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	34,08	4968,16	5577,10	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	0	738,11	758,72	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	80,05	4643,58	4937,66	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	3,95	151,42	163,43	Oui
	Manioc	25	/	0	2,90	6439,66	7288,27	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	19,76	138,91	133,56	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	66,74	2670,08	2784,51	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	0,77	152,66	163,55	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	32,61	4102,75	4365,96	Non
Savè	Maïs	25	/	0	14,84	91,33	91,24	Oui
	Manioc	25	/	0	0,86	5020,99	5247,53	Non

F. ÉTENDUE RELATIVE (RRG)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	82,20	183,60	197,44	Oui
	Manioc	31	/	0	9,80	492,68	481,55	Oui

Cobli	Maïs	31	/	0	0,28	368,84	394,69	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	42,54	2062,20	2009,97	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	6,38	291,21	312,37	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	51,32	1633,78	1625,84	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	30,54	217,94	231,83	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	38,59	2785,61	2902,64	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	54,56	177,53	190,60	Oui
	Manioc	31	/	0	0,85	4601,27	4736,16	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	52,39	204,33	226,42	Oui
	Manioc	31	/	0	11,15	2929,82	2824,74	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	54,25	293,88	311,67	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	34,11	4968,16	5525,32	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	5,87	738,11	759,43	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	79,36	4643,58	5426,11	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	8,56	151,42	152,41	Oui
	Manioc	25	/	0	0,68	6439,66	7039,78	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	9,75	138,91	141,15	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	66,25	2670,08	2721,31	Non
	Maïs	25	/	0	5,45	152,66	159,37	Oui

Glazoué	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	32,65	4102,75	4330,33	Non
Savè	Maïs	25	/	0	1,61	91,33	94,62	Oui
	Manioc	25	/	0	0,16	5020,99	5162,65	Non

G. DATE RELATIVE DU PREMIER VMN (DMN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	80,70	183,60	194,60	Oui
	Manioc	31	/	0	7,28	492,68	509,36	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	5,11	368,84	385,05	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	42,21	2062,20	2146,17	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	18,33	291,21	285,30	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	55,93	1633,78	1663,46	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	31,71	217,94	221,99	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	31,90	2785,61	2939,47	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	54,89	177,53	184,43	Oui
	Manioc	31	/	0	10,26	4601,27	4599,38	Non
	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	56,96	204,33	207,75	Oui

Malanville	Manioc	31	/	0	5,81	2929,82	3002,18	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	51,64	293,88	316,51	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	34,01	4968,16	5266,98	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	1,94	738,11	753,21	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	77,59	4643,58	4705,97	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	0,82	151,42	157,60	Oui
	Manioc	25	/	0	0,82	6439,66	6767,31	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	1,56	138,91	139,17	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	65,79	2670,08	2798,36	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	5,24	152,66	154,60	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	32,93	4102,75	4264,09	Non
Savè	Maïs	25	/	0	7,09	91,33	93,29	Oui
	Manioc	25	/	0	0,89	5020,99	5174,74	Non

H. DATE RELATIVE DU DERNIER VMX (DMX)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	81,80	183,60	182,75	Oui

Boukombé	Manioc	31	/	0	1,45	492,68	537,37	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	2,58	368,84	376,97	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	36,00	2062,20	2247,33	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,06	291,21	309,23	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	61,20	1633,78	1607,99	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	33,94	217,94	219,64	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	32,40	2785,61	2946,20	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	55,99	177,53	192,23	Oui
	Manioc	31	/	0	0,10	4601,27	4876,18	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	53,37	204,33	212,28	Oui
	Manioc	31	/	0	0,6	2929,82	3045,00	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	50,50	293,88	308,78	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	36,42	4968,16	5056,43	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	3,62	738,11	751,84	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	76,90	4643,58	4866,83	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	16,43	151,42	140,85	Oui
	Manioc	25	/	0	6,27	6439,66	6391,37	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0,03	138,91	150,33	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	70,51	2670,08	2972,65	Non

Glazoué	Maïs	25	/	0	4,81	152,66	163,11	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	43,69	4102,75	4500,39	Non
Savè	Maïs	25	/	0	51	91,33	64,93	Oui
	Manioc	25	/	0	11,33	5020,99	5685,95	Non

I. DATE RELATIVE DU PREMIER AUP (DUP)

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	80,76	183,60	189,15	Oui
	Manioc	31	/	0	15,72	492,68	513,70	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	22,47	368,84	367,61	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	42,87	2062,20	2110,89	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	19,23	291,21	282,19	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	64,94	1633,78	1520,00	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	30,96	217,94	232,40	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	32,24	2785,61	3038,54	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	54,90	177,53	184,91	Oui
	Manioc	31	/	0	0,62	4601,27	5071,70	Non

Malanville	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	52,63	204,33	216,89	Oui
	Manioc	31	/	0	17,98	2929,82	2748,44	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	50,44	293,88	301,99	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	34,19	4968,16	5354,34	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	8,50	738,11	737,05	Non
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	79,37	4643,58	4742,11	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	0,86	151,42	156,17	Oui
	Manioc	25	/	0	0,30	6439,66	6799,50	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0,06	138,91	144,87	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	66,90	2670,08	3070,12	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	0,20	152,66	162,28	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	32,55	4102,75	4930,29	Non
Savè	Maïs	25	/	0	4,97	91,33	97,20	Oui
	Manioc	25	/	0	1,72	5020,99	5425,81	Non

J. DATE RELATIVE DU DERNIER ADN (DDN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	80,66	80,69	183,60	195,95	Oui
	Manioc	31	/	0	3,20	492,68	534,72	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	17,15	368,84	364,29	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	35,64	37,09	2062,20	2167,35	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	15,55	291,21	281,77	Oui
	Manioc	31	Quadratique (1999-2016)	49,80	58,51	1633,78	1612,57	Oui
Banikoara	Maïs	31	Quadratique (1999-2016)	30,49	37,19	217,94	223,40	Non
	Manioc	31	Linéaire (1999-2016)	31,85	32,67	2785,61	2913,88	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	53,95	54,94	177,53	182,70	Oui
	Manioc	31	/	0	1,12	4601,27	4786,44	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (1999-2016)	49,88	49,94	204,33	216,58	Oui
	Manioc	31	/	0	10,75	2929,82	3016,72	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (1999-2016)	49,16	49,19	293,88	316,53	Non
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	33,41	41,32	4968,16	5043,90	Non
	Maïs	25	/	0	2,40	738,11	759,40	Non

Sô-Ava	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	76,20	76,91	4643,58	4713,56	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	5,04	151,42	151,28	Oui
	Manioc	25	/	0	2,93	6439,66	6578,77	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	2,47	138,91	142,92	Oui
	Manioc	25	Quadratique (1999-2016)	65,52	67,56	2670,08	2871,91	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	1,13	152,66	162,08	Oui
	Manioc	25	Linéaire (1999-2016)	32,55	38,03	4102,75	4471,69	Non
Savè	Maïs	25	/	0	17,94	91,33	94,16	Oui
	Manioc	25	/	0	8,88	5020,99	5567,55	Non

V. RÉSULTATS DÉTAILLÉS DE L'IDENTIFICATION DE CORRÉLATIONS ENTRE LES VARIABLES DÉRIVÉES DU RFE ET LES RENDEMENTS DU MAÏS ET DU MANIOC

A. AUGMENTATION LA PLUS IMPORTANTE ENTRE DEUX PÉRIODES SUBSÉQUENTES (ADN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	80,57	205,79	226,34	Oui
	Manioc	31	/	0	17,84	374,57	369,16	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	24,21	381,84	369,62	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	41,82	2114,37	2245,59	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,31	309,76	333,86	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	49,85	1692,66	1784,06	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	10,77	242,81	237,14	Oui
	Manioc	31	/	0	2,60	3270,87	3379,68	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	67,11	177,42	169,71	Oui
	Manioc	31	/	0	11,23	4897,49	4961,97	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	51,90	212,33	236,93	Oui
	Manioc	31	/	0	1,69	3005,30	3071,42	Non
	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	70,50	210,99	220,40	Non

Abomey-Calavi	Manioc	25	/	0	1,12	5648,18	5681,59	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	0	756,36	787,69	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	78,65	5447,61	5204,21	Non
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	18,96	148,64	143,95	Oui
	Manioc	25	/	0	5,57	6585,08	6724,30	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	6,26	147,91	147,30	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	48,45	2733,15	3076,33	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	0	159,36	177,28	Oui
	Manioc	25	/	0	3,78	4702,51	4833,18	Non
Savè	Maïs	25	/	0	0,12	91,31	95,96	Oui
	Manioc	25	/	0	15,11	5294,44	5408,72	Non

B. DIMINUTION LA PLUS IMPORTANTE ENTRE DEUX PÉRIODES SUBSÉQUENTES (AUP)

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	82,62	205,79	208,30	Oui
	Manioc	31	/	0	6,51	374,57	421,56	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	14,23	381,84	399,11	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	42,36	2114,37	2257,37	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	31,46	309,76	284,32	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	49,43	1692,66	1795,92	Non

Banikoara	Maïs	31	/	0	33,46	242,81	206,92	Oui
	Manioc	31	/	0	5,22	3270,87	3483,58	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	68,07	177,42	179,05	Oui
	Manioc	31	/	0	5,90	4897,49	5158,81	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	55,26	212,33	230,26	Oui
	Manioc	31	/	0	0,13	3005,30	3188,68	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	73,98	210,99	213,56	Non
	Manioc	25	/	0	11,53	5648,18	5715,76	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	2,67	756,36	765,78	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	67,74	5447,61	5594,32	Non
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	29,17	148,64	127,94	Oui
	Manioc	25	/	0	7,83	6585,08	6813,04	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	3,24	147,91	147,36	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	49,12	2733,15	2866,33	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	4,55	159,36	169,03	Oui
	Manioc	25	/	0	11,86	4702,51	4805,44	Non
Savè	Maïs	25	/	0	0,10	91,31	95,90	Oui
	Manioc	25	/	0	0,82	5294,44	5624,27	Non

C. VALEURS MOYENNES (VAV)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	85,90	205,79	190,23	Oui
	Manioc	31	/	0	0,73	374,57	386,52	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	0,72	381,84	407,98	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	41,50	2114,37	2183,98	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	0,64	309,76	321,70	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	49,41	1692,66	1756,78	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	1,81	242,81	249,80	Oui
	Manioc	31	/	0	0,10	3270,87	3398,91	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	57,37	177,42	184,87	Oui
	Manioc	31	/	0	5,50	4897,49	5100,33	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	50,61	212,33	220,03	Oui
	Manioc	31	/	0	2,42	3005,30	3226,29	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	70,13	210,99	228,55	Non
	Manioc	25	/	0	0,01	5648,18	5862,92	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	2,55	756,36	768,03	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	90,22	5447,61	3650,01	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	35,37	148,64	127,65	Oui
	Manioc	25	/	0	0,01	6585,08	7016,35	Non

Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	1,34	147,91	148,73	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	56,82	2733,15	2558,21	Oui
Glazoué	Maïs	25	/	0	3,19	159,36	173,96	Oui
	Manioc	25	/	0	1,28	4702,51	4797,98	Non
Savè	Maïs	25	/	0	1,48	91,31	94,30	Oui
	Manioc	25	/	0	0,02	5294,44	5601,73	Non

D. VALEURS MINIMALES (VMN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	80,09	205,79	225,40	Oui
	Manioc	31	/	0	0,19	374,57	401,58	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	15,13	381,84	382,38	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	43,74	2114,37	2233,16	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	5,15	309,76	319,29	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	50,52	1692,66	1722,02	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	1,18	242,81	260,25	Oui
	Manioc	31	/	0	0,06	3270,87	3475,73	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	58,06	177,42	214,48	Oui
	Manioc	31	/	0	0,74	4897,49	5119,86	Non
	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	53,23	212,33	218,15	Oui

Malanville	Manioc	31	/	0	0,23	3005,30	3037,21	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	69,92	210,99	224,56	Non
	Manioc	25	/	0	18,13	5648,18	5267,09	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	1,49	756,36	773,74	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	66,15	5447,61	5543,77	Non
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	0,05	148,64	153,02	Oui
	Manioc	25	/	0	13,78	6585,08	6307,50	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	2,18	147,91	157,82	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	49,28	2733,15	2876,46	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	3,75	159,36	167,66	Oui
	Manioc	25	/	0	0,62	4702,51	4878,34	Non
Savè	Maïs	25	/	0	1,23	91,31	97,82	Oui
	Manioc	25	/	0	6,20	5294,44	5545,10	Non

E. VALEURS MAXIMALES (VMX)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	82,22	205,79	222,82	Oui
	Manioc	31	/	0	1,06	374,57	402,83	Oui

Cobli	Maïs	31	/	0	5,38	381,84	405,19	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	42,62	2114,37	2264,45	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	5,60	309,76	308,37	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	54,66	1692,66	1737,62	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	6,27	242,81	250,49	Oui
	Manioc	31	/	0	0,01	3270,87	3392,15	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	71,82	177,42	186,97	Oui
	Manioc	31	/	0	2,77	4897,49	5721,01	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	52,98	212,33	228,58	Oui
	Manioc	31	/	0	9,21	3005,30	2991,29	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	72,96	210,99	215,07	Non
	Manioc	25	/	0	12,49	5648,18	5610,76	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	2,53	756,36	768,11	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	80,17	5447,61	5220,38	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	33,93	148,64	128,47	Oui
	Manioc	25	/	0	9,77	6585,08	6563,04	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	2,18	147,91	148,56	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	51,06	2733,15	2738,64	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	3,88	159,36	169,70	Oui
	Manioc	25	/	0	1,03	4702,51	4842,74	Non
	Maïs	25	/	0	0,31	91,31	98,29	Oui

Savè	Manioc	25	/	0	3,95	5294,44	5709,26	Non
------	--------	----	---	---	------	---------	---------	-----

F. DÉVIATION STANDARD (RSD)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	84,12	205,79	201,31	Oui
	Manioc	31	/	0	1,58	374,57	431,85	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	13,37	381,84	395,85	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	41,97	2114,37	2268,35	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	6,61	309,76	311,31	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	49,66	1692,66	1777,09	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	2,14	242,81	258,79	Oui
	Manioc	31	/	0	0,83	3270,87	3518,24	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	68,03	177,42	187,48	Oui
	Manioc	31	/	0	1,28	4897,49	5551,17	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	50,97	212,33	228,53	Oui
	Manioc	31	/	0	6,83	3005,30	3058,82	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	71,78	210,99	218,55	Non
	Manioc	25	/	0	8,15	5648,18	5692,16	Non
	Maïs	25	/	0	3,24	756,36	761,01	Non

Sô-Ava	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	84,46	5447,61	4611,55	Oui
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	34,47	148,64	129,29	Oui
	Manioc	25	/	0	8,69	6585,08	6565,61	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	10	147,91	145,58	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	50,59	2733,15	2990,42	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	1,88	159,36	167,80	Oui
	Manioc	25	/	0	0,35	4702,51	4922,67	Non
Savè	Maïs	25	/	0	0	91,31	97,02	Oui
	Manioc	25	/	0	4,15	5294,44	5644,69	Non

G. ÉTENDUE RELATIVE (RRG)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	81,69	205,79	219,86	Oui
	Manioc	31	/	0	0,68	374,57	413,52	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	10,95	381,84	400,63	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	41,78	2114,37	2336,80	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	10,73	309,76	304,67	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	51,68	1692,66	1737,84	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	5,54	242,81	252,92	Oui
	Manioc	31	/	0	0,01	3270,87	3401,83	Non

Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	71,90	177,42	186,48	Oui
	Manioc	31	/	0	2,79	4897,49	5720,43	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	53,05	212,33	228,33	Oui
	Manioc	31	/	0	9,08	3005,30	2992,59	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	72,88	210,99	215,02	Non
	Manioc	25	/	0	13,09	5648,18	5600,84	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	2,45	756,36	768,42	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	79,71	5447,61	5279,86	Non
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	33,10	148,64	129,13	Oui
	Manioc	25	/	0	10,15	6585,08	6553,90	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	3,53	147,91	147,97	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	50,31	2733,15	2826,90	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	2,66	159,36	169,30	Oui
	Manioc	25	/	0	0,77	4702,51	4877,65	Non
Savè	Maïs	25	/	0	0,55	91,31	97,83	Oui
	Manioc	25	/	0	5,76	5294,44	5747,89	Non

H. DATE RELATIVE DU PREMIER VMN (DMN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	80,19	205,79	213,21	Oui
	Manioc	31	/	0	12,91	374,57	363,64	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	0,98	381,84	389,64	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	45,18	2114,37	2249,10	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	6,56	309,76	350,25	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	50,63	1692,66	1933,99	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	0,02	242,81	254,72	Oui
	Manioc	31	/	0	2,75	3270,87	3329,94	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	57,36	177,42	284,95	Oui
	Manioc	31	/	0	15,60	4897,49	7078,85	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	56,83	212,33	207,59	Oui
	Manioc	31	/	0	19,93	3005,30	2807,28	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	70,90	210,99	215,23	Non
	Manioc	25	/	0	14,34	5648,18	5326,14	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	0,72	756,36	772,24	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	66,37	5447,61	5557,05	Non
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	2,27	148,64	156,39	Oui
	Manioc	25	/	0	22,88	6585,08	5868,94	Non

Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	1,79	147,91	161,65	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	48,41	2733,15	2978,17	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	19,88	159,36	148,34	Oui
	Manioc	25	/	0	1,14	4702,51	4862,84	Non
Savè	Maïs	25	/	0	5,03	91,31	97,04	Oui
	Manioc	25	/	0	17,06	5294,44	5402,43	Non

I. DATE RELATIVE DU DERNIER VMX (DMX)

Communes	Culture	Décade	Trend	R² sans variable	R² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	80,13	205,79	214,80	Oui
	Manioc	31	/	0	0,34	374,57	396,94	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	6,84	381,84	405,74	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	45,84	2114,37	2280,63	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	8,87	309,76	311,19	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	53,78	1692,66	1690,38	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	27,78	242,81	211,75	Oui
	Manioc	31	/	0	0,16	3270,87	3371,23	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	57,42	177,42	181,27	Oui
	Manioc	31	/	0	0,73	4897,49	5356,31	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	50,51	212,33	223,97	Oui
	Manioc	31	/	0	7,61	3005,30	3210,64	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	72,82	210,99	207,37	Non
	Manioc	25	/	0	9,70	5648,18	5656,13	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	1,00	756,36	801,69	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	69,34	5447,61	5431,70	Non
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	11,72	148,64	146,10	Oui
	Manioc	25	/	0	6,18	6585,08	6926,08	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	39,05	147,91	125,01	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	49,25	2733,15	2956,02	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	14,81	159,36	156,44	Oui
	Manioc	25	/	0	1,59	4702,51	5041,93	Non
Savè	Maïs	25	/	0	2,21	91,31	99,99	Oui
	Manioc	25	/	0	1,83	5294,44	5525,16	Non

J. DATE RELATIVE DU PREMIER AUP (DUP)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	81,36	205,79	207,22	Oui
	Manioc	31	/	0	4,11	374,57	387,66	Oui
	Maïs	31	/	0	5,47	381,84	405,28	Non

Cobli	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	46,84	2114,37	2133,28	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	4,56	309,76	309,76	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	53,27	1692,66	1735,11	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	0,87	242,81	268,41	Oui
	Manioc	31	/	0	0	3270,87	3534,34	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	59,06	177,42	186,95	Oui
	Manioc	31	/	0	5,23	4897,49	5020,84	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	54,31	212,33	214,02	Oui
	Manioc	31	/	0	0,25	3005,30	3262,40	Non

Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	72,20	210,99	225,88	Non
	Manioc	25	/	0	2,14	5648,18	5741,61	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	0,24	756,36	805,77	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	70,67	5447,61	5421,42	Non
Tori-Bossito	Maïs	25	/	0	0,33	148,64	163,17	Oui
	Manioc	25	/	0	8,63	6585,08	6686,30	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	3,26	147,91	158,59	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	49,23	2733,15	2927,25	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	9,23	159,36	159,08	Oui
	Manioc	25	/	0	0	4702,51	4866,07	Non
Savè	Maïs	25	/	0	13,26	91,31	90,55	Oui
	Manioc	25	/	0	0,24	5294,44	5396,69	Non

K. DATE RELATIVE DU DERNIER ADN (DDN)

Communes	Culture	Décade	Trend	R ² sans variable	R ² avec variable	RMSE sans variable	RMSE avec variable	RMSE < 20%
Boukombé	Maïs	31	Quadratique (2001-2016)	79,99	80,83	205,79	210,21	Oui
	Manioc	31	/	0	2,02	374,57	404,22	Oui
Cobli	Maïs	31	/	0	1,48	381,84	421,29	Non
	Manioc	31	Linéaire (2001-2016)	41,46	45,01	2114,37	2173,01	Non
Tanguiéta	Maïs	31	/	0	8,96	309,76	317,10	Non
	Manioc	31	Quadratique (2001-2016)	49,12	50,13	1692,66	1766,77	Non
Banikoara	Maïs	31	/	0	15,01	242,81	236,98	Oui
	Manioc	31	/	0	15,18	3270,87	3338,11	Non
Karimama	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	57,32	58,60	177,42	180,12	Oui
	Manioc	31	/	0	7,71	4897,49	5239,13	Non
Malanville	Maïs	31	Linéaire (2001-2016)	50,44	53,95	212,33	216,07	Oui
	Manioc	31	/	0	0,31	3005,30	3442,60	Non
Abomey-Calavi	Maïs	25	Quadratique (2001-2016)	69,90	69,97	210,99	229,53	Non
	Manioc	25	/	0	11,44	5648,18	5700,56	Non
Sô-Ava	Maïs	25	/	0	1,60	756,36	867,02	Non
	Manioc	25	Linéaire (2001-2016)	65,55	65,84	5447,61	5607,92	Non
	Maïs	25	/	0	12,29	148,64	142,94	Oui

Tori-Bossito	Manioc	25	/	0	3,62	6585,08	7441,01	Non
Dassa-Zounmè	Maïs	25	/	0	0,37	147,91	167,88	Oui
	Manioc	25	Quadratique (2001-2016)	48,40	61,23	2733,15	2762,57	Non
Glazoué	Maïs	25	/	0	0,12	159,36	177,47	Oui
	Manioc	25	/	0	0,24	4702,51	5299,91	Non
Savè	Maïs	25	/	0	5,92	91,31	101,07	Oui
	Manioc	25	/	0	4,18	5294,44	5744,91	Non

Résumé – Depuis 1990, le Cadre Harmonisé mesure, deux fois par an, la gravité de l’insécurité alimentaire en Afrique de l’Ouest. Basées sur la convergence des preuves, les analyses Cadre Harmonisé sont souvent marquées par l’absence d’indicateurs directs. Le Bénin ne faisant pas exception, les experts cherchent continuellement à augmenter la liste des données disponibles. La présente recherche évalue la pertinence de recourir aux indices issus de la télédétection au sein de ces analyses, en combinant une approche qualitative et une approche technique. La première partie consiste en une étude qualitative du Cadre Harmonisé, visant à mettre en évidence les grandes faiblesses de l’outil. La seconde recherche d’éventuelles corrélations entre les indices et les rendements du maïs et du manioc, de façon à identifier si ces indices sont susceptibles de trouver une place au sein des analyses Cadre Harmonisé. Enfin, ce détour par les indices de végétation et de pluviométrie est également l’occasion de revenir sur les limites du Cadre Harmonisé, afin d’en approfondir les réflexions. Il s’agit, notamment, de discuter de la prédominance du pilier de la disponibilité alimentaire, au sein des analyses, comparativement à d’autres aspects de la sécurité alimentaire actuellement délaissés, tels que la nutrition et l’accès social.