

PAS-PNA

SENEGAL

**Evaluation de la vulnérabilité du secteur agricole
à la variabilité et aux changements climatiques
dans la région de Fatick**

Secteur : Agriculture

Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation.

Janvier 2019

Mis en oeuvre par :

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Mandaté par :

 Ministère fédéral
de l'Environnement, de la Protection de la Nature
et de la Sécurité nucléaire
de la République fédérale d'Allemagne

Sous la tutelle de :

 République du Sénégal
"Un Peuple - Un But - Une Foi"
Ministère de l'Environnement et du
Développement Durable
(MEED)



En coopération avec :

**CLIMATE
ANALYTICS**

AUTEURS

Adama Faye Mélinda Noblet
Ibrahima Camara Sokhna Diarra Mboup

Avec la contribution des membres du consortium de recherche du secteur de l'Agriculture.

Remerciements à l'équipe de recherche de AMMA2050 pour sa contribution et la mise à disposition des données ainsi que l'ensemble des membres du consortium qui ont facilité la mise à disposition des données nécessaires à l'étude.

Cette publication a été développée dans le cadre de la Composante 2, Activité II.3 du Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne (PAS-PNA).

Cette publication peut être reproduite en tout ou partie, sous quelque forme que ce soit, à des fins pédagogiques et non lucratives, sur autorisation spéciale de Climate Analytics, à condition que sa source soit mentionnée et référencée.

Cette publication ne peut être revendue ou utilisée à des fins commerciales sans autorisation écrite préalable de Climate Analytics.

Nous regrettons toutes erreurs ou omissions qui auraient été commises involontairement.

Ce document peut être cité sous le titre :

FAYE A., CAMARA I., NOBLET M., MBOUP S., 2019. Evaluation de la vulnérabilité du secteur de l'agriculture à la variabilité et aux changements climatiques dans la région de Fatick. Report produced under the project "Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne", Climate Analytics gGmbH, Berlin.

Une copie numérique de ce rapport est disponible en ligne sur :
www.climateanalytics.org/publications.

Cette étude est financée dans le cadre du Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne, relevant de l'Initiative Internationale pour le Climat (IKI) soutenue par le Ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature et de la Sureté Nucléaire (BMU) en vertu d'une décision du Parlement de la République fédérale d'Allemagne, et mis en oeuvre par Climate Analytics et la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

Résumé

Les effets des changements climatiques sont parmi les défis actuels auxquels l'humanité doit et devra faire face. L'Afrique de l'Ouest, l'une des régions les plus affectées et particulièrement la zone du Sahel, expérimente déjà un réchauffement des températures de 2°C depuis 1950, une forte variabilité des précipitations et une intensification des phénomènes extrêmes. Ainsi, les secteurs de développement notamment l'agriculture, l'environnement, les ressources en eau, sont menacés. Depuis 2015, le Sénégal s'est engagé dans le processus de réalisation de son Plan National d'Adaptation (PNA) et bénéficie pour la période 2016-2019 du Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation (PAS-PNA). La composante 2 du PAS-PNA a pour objectif d'évaluer la vulnérabilité actuelle et future de différents secteurs d'activités dont l'agriculture pour la région de Fatick et d'identifier les options d'adaptations adéquates aux horizons 2035 et 2050.

Une approche participative principalement qualitative avec des enquêtes auprès des populations, des focus group, des interviews mais également l'exploitation des statistiques agricoles et climatiques a été utilisée pour évaluer la vulnérabilité actuelle dans les sites d'étude de Niakhar et Toubacouta. La vulnérabilité future a été évaluée à l'aide de la modélisation des cultures dont le mil, le maïs, le sorgho et l'arachide avec les modèles SARRA-H et DSSAT. Les impacts socio-économiques des changements climatiques au niveau de la zone ont été évalués à l'aide du modèle d'équilibre général calculable (MEGC).

Les résultats montrent une forte exposition du secteur agricole à la variabilité climatique interannuelle qui est à l'origine d'une irrégularité de la pluviométrie, d'une hausse des températures, du démarrage tardif et de la fin précoce des pluies, des pauses pluviométriques plus fréquents mais également des facteurs non climatique comme la salinisation des terres et la dégradation des sols. Malgré cette exposition, une légère tendance à la hausse des rendements agricoles des céréales et l'arachide est notée suivant les statistiques agricoles, cependant une perception d'une baisse des rendements est considérée par les populations. Toutefois, cette variabilité des rendements agricoles d'une année à l'autre oblige les populations à développer des stratégies d'adaptation avec l'appui d'ONG et des services déconcentrés de l'État. Des effets plus sévères sur les cultures sont attendus dans le futur notamment sur le cycle de développement du mil et du sorgho qui pourrait être réduit d'environ quatre (4) jours à l'horizon 2035 et sept (7) jours à l'horizon 2050 suivant le scénario RCP4.5 et d'environ sept (7) jours à l'horizon 2035 et 14 jours à l'horizon 2050 pour le scénario RCP8.5. Le cycle du maïs qui serait moins affecté sera respectivement réduit de trois (3) jours et quatre (4) jours aux mêmes horizons. Contrairement aux cycles des céréales, le cycle de l'arachide ne sera pas affecté par les changements climatiques. Des pertes de rendement moyen des céréales de 8% à 14% à l'horizon 2035 et de 17% à 27% à l'horizon 2050, et une légère hausse pour l'arachide pouvant aller jusqu'à 12% sont attendues dans la zone. Ces impacts sur le secteur agricole pourraient influencer le niveau de vie des ménages à cause de l'augmentation attendue du prix des produits agricoles et par conséquent une augmentation du prix à la consommation des ménages en 2035 et 2050. Une probable baisse du taux de salaire dans les secteurs agricoles affectera le revenu du travail et par conséquent le revenu disponible et la dégradation des conditions de vie des ménages.

Parmi les options d'adaptation proposées pour adapter l'agriculture aux conditions futur dans la région de Fatick figurent des options prioritaires au niveau institutionnel comme le renforcement de la recherche variétal, la mise à disposition de semences certifiées de variétés adaptées, le renforcement de capacités des agriculteurs, la gestion et valorisation des eaux de pluies, le renforcement du système

d'alerte précoce en milieu rural et la promotion de l'agro-écologie. Au niveau communautaire une diversification des activités génératrices de revenu, la transformation agroalimentaire, une structuration des producteurs en coopératives et une adaptation des pratiques culturales permettraient d'avoir une agriculture durable dans le futur.

Table des matières

Résumé.....	1
Table des matières	3
Liste des Figures	5
Liste des Tableaux	7
1 Contexte.....	8
2 Périmètre de l'étude de vulnérabilité	10
2.1 Zone d'étude : le Delta du Saloum/région de Fatick.....	10
2.1.1 Position géographique.....	10
2.1.2 Climat.....	11
2.1.3 La situation sociodémographique	11
2.1.4 Situation socio-économique.....	13
2.1.5 Zones d'étude spécifique.....	14
3 Approche générale d'évaluation de la vulnérabilité	15
4 Etude de la vulnérabilité actuelle	20
4.1 Méthodologie et matériel	20
4.1.1 Enquête sur le terrain.....	20
4.1.2 Acquisition des données agricoles et climatiques	21
4.1.3 Analyse des données.....	21
4.2 Résultats et Discussion	23
4.2.1 Profil socio-écologique de la zone	23
4.2.2 Exposition	25
4.2.3 Sensibilité	35
4.2.4 Évaluation de la capacité d'adaptation	40
4.2.5 Priorisation des vulnérabilités	43
5 Évaluation de la vulnérabilité future.....	46
5.1 Matériels et méthodes	47
5.1.1 Exposition future	47
5.1.2 Sensibilité	48
5.2 Analyse des impacts socio-économiques	48
5.3 Résultats	48
5.3.1 Exposition future	48
5.3.2 Sensibilité future	51

5.3.3	Impacts socio-économiques futurs	53
5.3.4	Discussion.....	54
5.3.5	Synthèse de l'évaluation de la vulnérabilité future	56
6	Synthèse des vulnérabilités actuelle et future pour le secteur (avec mise en perspective)	59
7	Identification des options d'adaptation	59
8	Conclusion et recommandations	63
9	Références.....	65
	Annexes.....	70

Liste des Figures

Figure 1 : Localisation de la région de Fatick (source : gouvernement du Sénégal)	10
Figure 2 : Taux de croissance de la population et de la densité de la région de Fatick de 2005 à 2014 (en %). Source : PAS-PNA à partir des données de SES Fatick 2005-2006-2007-2008-2010-2011-2012-2013-2014	11
Figure 3 : Evolution du taux brut de scolarisation en élémentaire dans la région de Fatick de 2005 à 2014. Source : PAS-PNA à partir des données de SES Fatick 2005-2006-2007-2008-2010-2011-2012-12	12
Figure 4 : Principales activités dans la région de Fatick. Source : PAS-PNA à partir des données de SES Fatick 2014	13
Figure 5 : Evolution de l'incidence de la pauvreté dans la région de Fatick de 1992 à 2011. Source : PAS-PNA à partir des données de SES Fatick 2005 et ESPS II	14
Figure 6 : Localisation des sites d'étude à l'intérieur de la région de Fatick (source : A. Seck, UCAD) .	15
Figure 7 : Approche combinée locale et globale pour gérer les impacts des changements climatiques (adapté de Dessai and Hulme (2004)).....	16
Figure 8 : Déterminants actuels et futurs de la vulnérabilité à la variabilité climatique et aux changements climatiques (traduit (traduction libre de CA) de Assessing Adaptation Knowledge in Europe : Vulnerability to Climate Change, 2017).....	17
Figure 9 : Approche générale d'évaluation de la vulnérabilité actuelle et future.....	18
Figure 10 : Chaîne d'impacts selon AR4 du GIEC (Climate Analytics)	19
Figure 11 : Les différentes cultures recensées dans les deux sites de Niakhar et Toubacouta	25
Figure 12 : Evolution interannuelle des températures minimales et maximales à la station de Fatick de 1991 à 2017 (Source des données : ANACIM, Image : Projet PAS-PNA).	28
Figure 13 : Probabilités d'occurrence des séquences sèches (Station de Kaolack, Source : Sarr, 2012)	28
Figure 14 : Evolution interannuelle des dates début et de fin de saisons issues des stations météorologique de Fatick et Foundiougne (Source des données : ANACIM)	29
Figure 15 : Anomalies standardisées de la pluviométrie des stations de Fatick (gauche) et Foundiougne (droite)	30
Figure 16 : Perception des populations sur l'évolution du début de l'hivernage actuel et dans le passé, A gauche : Début de l'hivernage dans le passé, A droite : Début de l'hivernage actuel	31
Figure 17 : Perception des populations sur l'évolution de la fin de l'hivernage actuel et dans le passé, A gauche : Fin de l'hivernage dans le passé, A droite : Fin de l'hivernage actuel	31
Figure 18 : Perception des populations sur l'évolution de la pluviométrie (gauche), et la variabilité spatio-temporelle (droite)	32
Figure 19 : Perception des populations sur l'évolution de la température, à gauche : Climat de plus en plus chaud, à droite : Les nuits de plus en plus chaudes	33
Figure 20 : Perception des populations sur les évènements extrêmes, à gauche : Intensité des pluies actuelles, à droite : Intensité des vents actuels.....	34
Figure 21 : Corrélacion entre la pluviométrie (station de Fatick) et les rendements agricoles par spéculation.....	36
Figure 22 : Rapport entre la moyenne pluviométrique saisonnière de juin-juillet-août-septembre (Station de Fatick) et les rendements agricoles par spéculation (Source : DRDR Fatick).....	37
Figure 23 : Origine des moyens d'existence à Niakhar et Toubacouta	41

Figure 24 : Évolution de l'indice de pluie standardisé de l'historique (noire), de l'observation (magenta), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge). Les données utilisées sont celles de la moyenne d'ensemble des 24 simulations des modèles cmip5	49
Figure 25 : Evolution de la moyenne mobile sur 5ans du début de la saison des pluies et de la longueur de la saison des pluies de l'historique (noire), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge). Le trait noir oblique montre la tendance de l'historique. Les données utilisées sont celles de la moyenne d'ensemble des 24 simulations des modèles cmip5 du tableau 1.	50
Figure 26 : Évolution de la moyenne mobile sur 5ans de la température maximale de l'historique (noire), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge). Le trait noir fin horizontal donne la valeur de la température maximale de la période de référence. Les données utilisées sont celles de la moyenne d'ensemble des 24 simulations des modèles.	51
Figure 27 : Évolution de la moyenne mobile sur 5ans des rendements des quatre cultures majeurs de la zone. Les différentes courbes représentent les données historiques (noire), le scénario rcp4.5 (bleue) et le scénario rcp8.5 (rouge).	52
Figure 28 : Écarts de rendement des différentes cultures aux horizons 2035 et 2050, par rapport à la période de référence 1976-2005 pour les céréales et l'arachide.....	53
Figure 29 : Evolution du cycle des cultures céréalières dans le futur selon les scenarios RCP 4.5 et RCP 8.5 aux horizons 2030 et 2050	53
Figure 30 : Variation du prix à la consommation des produits et le pouvoir d'achat des ménages en 2035 et 2050 (en %)	54
Figure 31 : Variation du revenu du travail, du revenu disponible et du bien-être des ménages en 2035 et 2050 (en %)	54

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Evolution du nombre de structures sanitaires dans la région de Fatick	12
Tableau 2 : Echantillon enquêté par site composé de la commune et de ses hameaux	20
Tableau 3 : Les probabilités d'occurrence des évènements climatiques et les couleurs attribuées.....	22
Tableau 4 : Matrice d'impacts des évènements climatiques	22
Tableau 5 : Analyse des moyens d'existence en lien avec la capacité d'adaptation	23
Tableau 6 : Score affecté aux indicateurs des moyens d'existence en fonction de leur disponibilité..	23
Tableau 7 : Perception des populations sur l'évolution de la durée et de la fréquence des séquences sèches.....	33
Tableau 8 : Repères d'évènements extrêmes dans la région de Fatick il y a 20 à 30 ans.....	34
Tableau 9 : Matrice des impacts (Facteurs climatiques et variables impactés).....	39
Tableau 10 : Changement absolu moyen du cumul pluviométrique, du début et de la longueur de la saison des pluies pour les horizons 2035 et 2050 des deux scénarios (rcp4.5 et rcp8.5). Les valeurs entre parenthèses indiquent le nombre de simulations ayant entraîné le changement	49
Tableau 11 : Changement absolu moyen des températures maximales et minimales pour les horizons 2035 et 2050 des deux scénarios (rcp4.5 et rcp8.5). Toutes les simulations montrent une augmentation.....	50
Tableau 12 : Synthèse des valeurs de rendements par spéculation à Niakhar et à Toubacouta selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5.....	57
Tableau 13 : Synthèse de la vulnérabilité actuelle et future du secteur agricole à Niakhar et Toubacouta	59
Tableau 14 : Options d'adaptation identifiées lors de l'atelier participatif organisé à Fatick en novembre 2018.....	60
Tableau 15 : Options d'adaptation identifiées suivant les vulnérabilités et les différentes activités et résultats potentiels	60

1 Contexte

Selon le dernier rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), l'essentiel de l'accroissement observé de la température moyenne globale depuis le milieu du 20ème siècle est très probablement dû à l'augmentation observée des concentrations de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique (GIEC, 2014). Toutes les projections futures du climat global (futur proche et lointain) prévoient une intensification du réchauffement moyen, en plus de la variabilité des précipitations et aussi une plus grande fréquence et une intensification des phénomènes extrêmes (GIEC, 2014).

Les impacts de cette variabilité climatique varient d'une région du globe à une autre avec des conséquences socio-économiques particulièrement importantes dans les pays en développement (Sultan, 2015). En Afrique, une augmentation de la magnitude et de la fréquence des événements extrêmes est anticipée (Nangombe, 2018). Parmi les zones les plus affectées figure l'Afrique de l'Ouest (Dilley et al., 2005 ; GIEC, 2014), où les secteurs clés de développement des pays sahéliens, notamment l'environnement, l'agriculture, les ressources en eau, sont considérés comme particulièrement vulnérables aux changements climatiques qui vont s'accompagner de nouveaux régimes de pluies (Salack, 2016). Le faux départ, l'arrêt précoce de la saison des pluies, l'intensification de la fréquence des averses quotidiennes, l'augmentation du nombre de nuits et de journées chaudes et une tendance à la baisse dans la variation de la température journalière menacent la sécurité alimentaire dans la région (Salack, 2016).

L'année 2017 a été la troisième année la plus chaude jamais enregistrée sur les terres continentales africaines depuis 1950, après 2010 (année la plus chaude) et 2016 (2ème année la plus chaude) (ACMAD, 2017). Au cours des neuf premiers mois de 2017, la température moyenne sur le continent était supérieure de 1.20°C à la moyenne de 1961-1990 (en comparaison, la température était de 1.41°C supérieure à la moyenne en 2010 et de 1.26°C en 2016) (ACMAD, 2017). L'Afrique de l'Ouest expérimente déjà un réchauffement des températures de 1°C depuis 1950 (Morice et al, 2012). Dans le cas du Sahel, le réchauffement moyen depuis 1950 est encore plus élevé pendant la saison du printemps (plus de 2°C) (Guichard et al, 2015 ; Barbier, 2018).

Pour le futur, le réchauffement des températures pour l'Afrique de l'Ouest est estimé à 3°C dans le cadre du scénario RCP4.5 et à 6°C dans le cadre du scénario RCP8.5 à l'horizon 2100. Cela représente un réchauffement 10% à 60% supérieur au réchauffement global moyen de la planète (Deme et al, 2015). Durant ces dernières années, le continent a expérimenté des vagues de chaleur plus longues et plus intenses que durant les deux dernières décennies du 20ème siècle (Russo, 2016). Par ailleurs, 50% des projections climatiques régionales suggèrent que ces vagues de chaleur, qui sont inhabituelles dans les conditions climatiques actuelles, seront plus régulières d'ici à 2040 voire plus sévères sous le scénario RCP8.5 (Russo, 2016). Concernant les précipitations, de nombreuses incertitudes subsistent pour la région. Toutefois, une diminution des précipitations est attendue dans le Sahel-Ouest tandis que le Sahel-Est devrait connaître une augmentation des précipitations (Deme et al. 2015).

Au Sénégal, les impacts du réchauffement climatique global présentent des risques sérieux pour l'agriculture qui est principalement pluviale, les ressources en eau et les zones côtières qui sont déjà fragiles. Ces trois secteurs occupent une place importante dans l'économie nationale et leur sensibilité aux impacts des changements climatiques risque de remettre en question les objectifs du Plan Sénégal Emergent (CPDN, 2015).

Le Sénégal s'est engagé depuis 2015 dans le processus de réalisation de son Plan National d'Adaptation (PNA) et bénéficie pour la période 2016-2019 du Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation (PAS-PNA) financé par le Ministère fédéral allemand de l'Environnement, de la Protection de la Nature et la Sûreté nucléaire (BMU), et mis en œuvre par la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) en collaboration avec Climate Analytics. Selon les Directives techniques du Groupe d'experts des pays les moins avancés (PMA), le processus PNA doit dorénavant reposer sur des connaissances scientifiques solides (CCNUCC, 2012).

La composante 2 du PAS-PNA envisage de répondre à ce défi par le renforcement des capacités scientifiques pour la planification et la programmation des mesures d'adaptation. Plus spécifiquement, il s'agit de réaliser trois études de vulnérabilité, soit une étude pour chaque secteur identifié : agriculture, ressources en eau et zones côtières dans une démarche de renforcement de la capacité.

Encadré 1 : Le processus de renforcement de capacité scientifique du PAS-PNA

Le renforcement des capacités scientifiques du PAS-PNA s'articule autour de la réalisation des trois études de vulnérabilité approfondies et l'identification des options d'adaptation. Ces études se sont appuyées sur une méthodologie robuste et éprouvée d'analyse de vulnérabilité (voir partie 3).

Le renforcement des capacités scientifiques se matérialise à travers la mise en place de trois consortia de recherche (un consortium par secteur) et d'un comité de suivi des études. Chaque consortium regroupe l'ensemble des structures scientifiques pertinentes pour le secteur (environ 12 structures par secteur-voir liste en annexe) et est accompagné du comité de suivi comprenant les décideurs politiques et fonctionnaires (ministère sectoriel concerné, etc.), les collectivités locales, la société civile et le secteur privé.

De manière concrète, l'étude de vulnérabilité pour chaque secteur a été menée par un jeune chercheur (post-doc) qui a bénéficié de l'appui des membres du consortium et de l'équipe de Climate Analytics. Ainsi, le renforcement de capacités scientifiques a permis à au moins 4 jeunes chercheurs d'acquérir chacun une expertise pointue en matière d'analyse de vulnérabilité climatique dans son domaine, qu'il pourra ensuite reproduire dans le cadre d'études ultérieures. Plus largement, le processus a bénéficié à l'ensemble des membres des consortia et du comité de suivi.

La présente étude porte sur le secteur de l'agriculture et a pour objectif général de mesurer la vulnérabilité face aux changements climatiques de la zone du Delta du Saloum/région de Fatick et d'identifier des options d'adaptation pertinentes. Il s'agit d'analyser à la fois la vulnérabilité actuelle et la vulnérabilité future.

Cette étude de vulnérabilité a pour objectifs spécifiques de :

- Identifier les facteurs qui rendent actuellement le secteur vulnérable aux variabilités climatiques et aux événements extrêmes. L'exposition, la vulnérabilité biophysique, la sensibilité du contexte socio-économique (pauvreté, accès aux marchés, niveau d'éducation, etc.) et la capacité d'adaptation seront prises en compte.
- Identifier les potentiels impacts futurs des changements climatiques (augmentation des températures, changement dans la distribution de la pluviométrie, vagues de chaleur, etc.), sur

les systèmes de culture et leur chaîne de valeur. Il s'agit de regarder les impacts biophysiques et de les combiner avec des projections de paramètres socio-économiques (taux de croissance de la population, stratégie de développement, évolution de la pauvreté, évolution du niveau d'éducation, etc.).

- Identifier les options d'adaptation qui puissent permettre aux systèmes de culture et à la population qui en dépend d'être plus résilients aux impacts des changements climatiques projetés, par une réduction de la vulnérabilité structurelle (réduire la pauvreté, augmenter l'accès aux marchés, diversification des sources de revenus, élever le niveau d'éducation, etc.), par une réduction de l'exposition biophysique aux impacts projetés (ex : cultures plus résistantes), ou par une combinaison des deux.

2 Périmètre de l'étude de vulnérabilité

2.1 Zone d'étude : le Delta du Saloum/région de Fatick

2.1.1 Position géographique

La région de Fatick (Fig.1) se trouve dans le bassin arachidier qui constitue la première région agricole du Sénégal (MEDD, 2016). Elle est limitée à l'Est par la région de Kaolack, à l'Ouest par l'Océan Atlantique, au Nord par la région de Diourbel, au Nord-Ouest par la région de Thiès, au Sud par la Gambie. La région compte trois départements (Fatick, Gossas, Foundiougne). La présente étude va se concentrer uniquement sur les départements de Fatick et Foundiougne.



Figure 1 : Localisation de la région de Fatick (source : gouvernement du Sénégal)

2.1.2 Climat

Le climat est de type soudano-sahélien. La région présente une forte hétérogénéité qui peut être résumée en une opposition Nord/Sud : au Nord, une pluviométrie moyenne de 520 mm dans le département de Fatick avec une saison des pluies plus courte et au Sud une pluviométrie moyenne de 680 mm notamment dans le département de Foundiougne (Bodian, 2014).

2.1.3 La situation sociodémographique

Depuis la création de la région en 1984, la population de Fatick a connu une croissance lente passant de 509 702 habitants en 1988 à 615 558 habitants en 2002 (taux de croissance moyen annuel de 1,4%). Selon les résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPHAE) réalisé en 2013, la population de Fatick est de 714 389 habitants, soit 5,3% de la population nationale. Entre 2002 et 2013, le taux de croissance démographique moyen annuel est estimé à 1,3%. Si ce rythme de croissance se maintient, la population de Fatick doublera d'ici à 2051 (ANSD, 2013). La densité de la région augmente avec 110 habitants par km² en 2014 contre 87 habitants par km² en 2005.

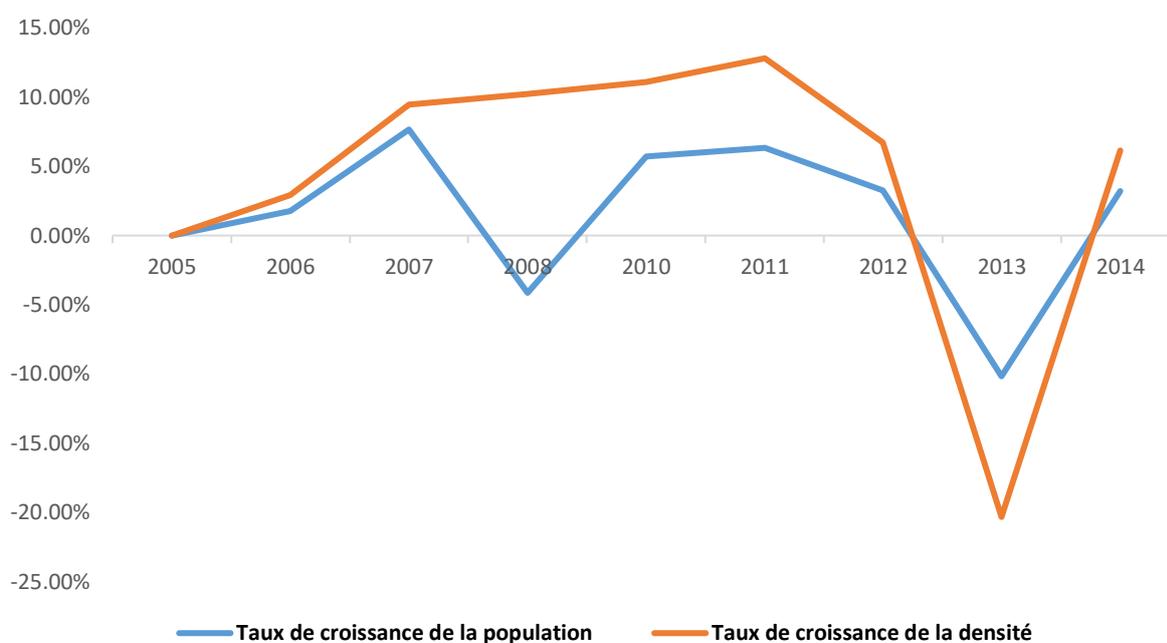


Figure 2 : Taux de croissance de la population et de la densité de la région de Fatick de 2005 à 2014 (en %). Source : PAS-PNA à partir des données de SES Fatick 2005-2006-2007-2008-2010-2011-2012-2013-2014

La région de Fatick est marquée par de très fortes disparités sur le plan social. Ainsi, en dépit de la politique d'alphabétisation et des progrès enregistrés ces dernières années sur le plan national, le taux d'analphabétisme dans la région demeure assez important avec un taux de 51,1% (RGPHAE de 2013). Il est plus élevé chez les femmes (58,3%) que chez les hommes (43,4%).

La population de la région de Fatick est essentiellement jeune ; plus de la moitié a moins de 15 ans (SES Fatick, 2014). Toutefois, à cause d'une insuffisance des infrastructures socio-éducatives, sa jeunesse rencontrait une difficulté d'accès à l'éducation dans le passé qui s'est nettement réduite entre 2005 et 2010. Le taux brut de scolarisation est de 70,10 % en 2004 contre 79,90 % pour le niveau national (Situation économique et sociale de la région de Fatick, 2004). Ce taux devient relativement

plus faible entre 2010 et 2012 et en 2014 (figure 2). Le taux brut de scolarisation suit ainsi une évolution très erratique dans cette région. En plus, la résistance à la scolarisation demeure un problème majeur. En effet, malgré un taux brut de scolarisation très élevé à l'élémentaire, celui-ci reste encore très faible en cycle secondaire avec un taux de 35% en 2014. Étant donné que l'enseignement secondaire est le niveau qui contribue le plus à la qualification des apprenants, ce manque d'études poussées se traduirait sans doute par une insuffisance du capital humain nécessaire au développement économique de la région. Ce manque de qualification justifierait en partie le taux de chômage élevé dans la région qui s'élève à 28,5% en 2014 (SES Fatick 2014).



Figure 3 : Evolution du taux brut de scolarisation en élémentaire dans la région de Fatick de 2005 à 2014. Source : PAS-PNA à partir des données de SES Fatick 2005-2006-2007-2008-2010-2011-2012-

A l'instar du système éducatif, le secteur de la santé rencontre plusieurs difficultés à assurer à la population un accès aux structures sanitaires et à un service de qualité. La région ne dispose que d'un seul hôpital fonctionnel depuis décembre 2013. Malgré une évolution du nombre de centres de santé et de postes de santé, les normes de l'OMS sont loin d'être respectées.

Tableau 1 : Evolution du nombre de structures sanitaires dans la région de Fatick

Structures sanitaires	2005	2006	2007	2008	2009	2010-2011	2013	2014
Centres de santé	3	6	6	7	6	7	7	7
Postes de santé	81	84	82	84	75	89	89	90
Case de santé	258	289	296	265	198	219	219	152

Source : PAS-PNA à partir des données de SES Fatick 2005-2006-2007-2008-2010-2011-2012-2013-2014

L'approvisionnement en eau pour la population est problématique. Avec les Objectifs du Millénaire (OMD), les politiques hydrauliques ont initié divers programmes pour assurer une couverture en eau correcte en milieu urbain et en milieu rural en vue de réduire de moitié le pourcentage de la population

n'ayant pas accès à un approvisionnement en eau potable et à un assainissement. Cependant, dans la région de Fatick les résultats restent très mitigés. Dans beaucoup de zones, tant rurales qu'urbaines, l'eau n'est pas fournie en quantité suffisante. De plus, la présence de sel et de fluor dans les nappes souterraines variant selon la zone et la profondeur du lieu de captage joue pour beaucoup sur la qualité de l'eau. Le manque d'investissement dans la création et la pérennité des ouvrages hydrauliques fait que le nombre de forages et de puits est insuffisant et mal réparti dans la région.

2.1.4 Situation socio-économique

L'économie de Fatick est essentiellement dominée par l'agriculture, l'élevage et la pêche. L'agriculture est la principale activité économique de la région de Fatick (50% de la superficie régionale) et emploie près de 90% de la population active. Le secteur agricole se caractérise par des systèmes de production de type extensif dominés par les cultures vivrières (mil, riz, maïs et niébé) et celles dites de rente (arachide, sésame, pastèque, cultures maraîchères et fruitières). Selon l'ANSD (2014), 57 568 ménages pratiquent l'agriculture au sens large dans la région de Fatick dont 88% en zone rurale. La grande culture reste majoritairement l'agriculture pluviale pratiquée par 75% des ménages (43 253 ménages). Dans la grande majorité, les producteurs agricoles sont de petits exploitants qui cultivent la terre sur des régimes fonciers traditionnels et pratiquent des assolements traditionnels (rotation culturale). La plupart d'entre eux combinent cultures de rente et cultures vivrières, tout en possédant quelques animaux en élevage extensif et, dans de plus rares cas, intensifs associés aux cultures. On observe également une diversification des pratiques culturales avec l'introduction du sésame, des cultures maraîchères et fruitières. Cependant, le secteur est confronté à de fortes menaces avec la dégradation des terres dont une bonne partie est salée et subit un processus d'acidification faisant évoluer les sols vers des formations en tannes. Elles deviennent par conséquent impropres à la culture. Ces terres dégradées qui représentent 27% de la superficie régionale, constituent une contrainte majeure pour le développement de ce secteur. L'élevage de type sylvopastoral est, pour sa part, pratiqué par 67,6% des ménages au niveau régional contre 28,2% des ménages au niveau national. Néanmoins, la réduction de l'espace pastoral due à la progression des terres salées reste un handicap notable pour le développement de ce secteur (ANSD/SRSD Fatick, 2013).

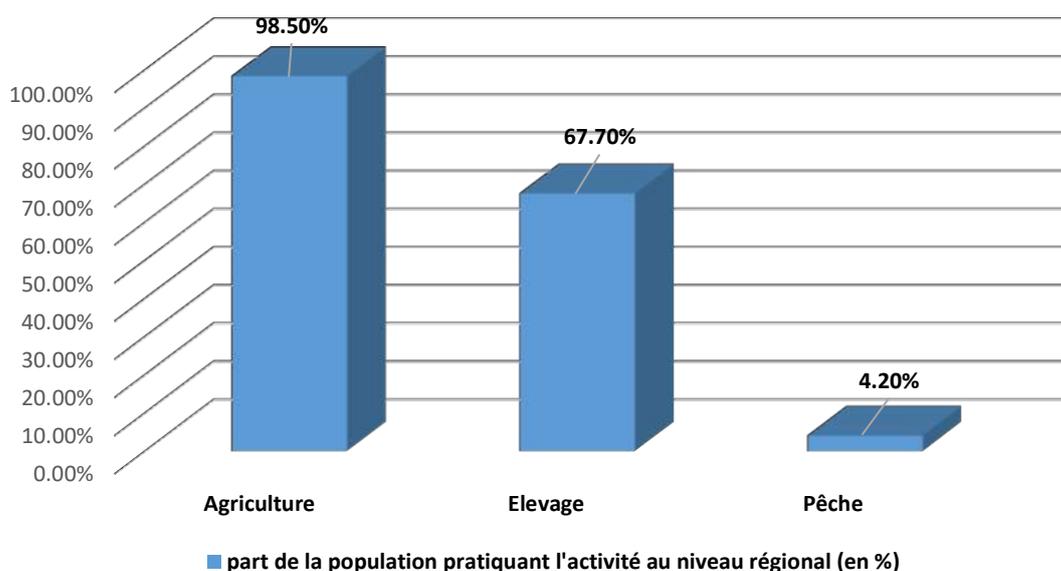


Figure 4 : Principales activités dans la région de Fatick. Source : PAS-PNA à partir des données de SES Fatick 2014

L'activité de pêche est aussi assez présente à Fatick où l'on observe une diversité écologique importante (poissons, crustacés et mollusques). Mobilisant près de 4,2% des ménages au niveau régional contre 1,0% des ménages au niveau national, elle est très dynamique dans la « Réserve de la Biosphère du Delta du Saloum ». Elle est pratiquée à la fois sur la façade maritime et dans la zone fluvio-lagunaire avec une large zone deltaïque présentant un front d'environ 70 km. Les activités de pêche et d'agriculture concentrent l'essentiel des rares entreprises de transformation, la région n'abritant aucune entreprise industrielle d'envergure (ANSD/SRSD Fatick, 2004). Par ailleurs, le niveau d'enclavement très important de la région est un lourd handicap pour son développement économique. En effet, toutes les routes reliant les départements au chef-lieu de région sont extrêmement défectueuses.

Toutefois, un autre secteur prometteur pour la région est le tourisme qui recèle d'énormes potentialités et occupe une place de choix dans le tissu économique de la région. Elle offre une gamme assez riche de sites touristiques constitués par les nombreux cours d'eau et bolongs, les îles du Saloum et le Parc National du Delta du Saloum.

Enfin, Fatick est l'une des régions du Sénégal dans laquelle la pauvreté est la plus répandue. L'incidence de la pauvreté¹ dans la région est de 51,2% en 1992 (Enquête sur les priorités) contre 66,1% en 2011 (ESPS II). Quant à la sévérité de la pauvreté², elle est de 10,9% en 2011(ESPS II).

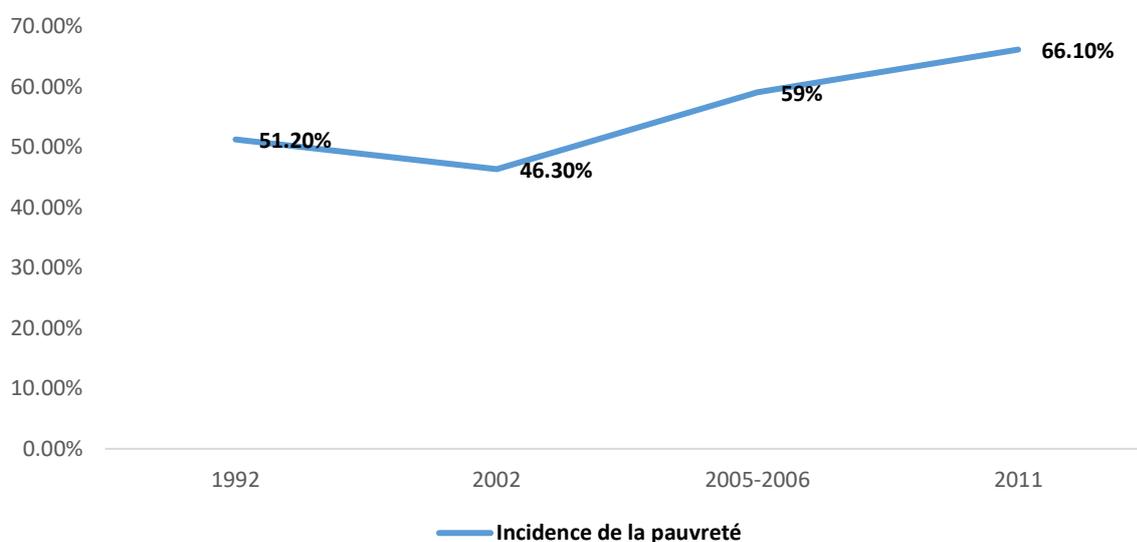


Figure 5 : Evolution de l'incidence de la pauvreté dans la région de Fatick de 1992 à 2011. Source : PAS-PNA à partir des données de SES Fatick 2005 et ESPS II

2.1.5 Zones d'étude spécifique

Trois sites sont couverts par les études de vulnérabilité sectorielles réalisées dans la région, en particulier pour la réalisation des enquêtes : Niakhar, Toubacouta et Dionewar. Ces sites sont

¹ L'incidence de la pauvreté est la part de la population ou des ménages qui vit en état de pauvreté.

² La sévérité de la pauvreté mesure la part de la population en situation d'extrême pauvreté.

représentatifs des problématiques observées dans la région de Fatick. En effet, la réalisation des études de vulnérabilité vise une approche de gestion intégrée ; toutefois, les zones choisies présentent des dynamiques propres. Les zones de Niakhar et de Toubacouta serviront de cas d'étude pour l'agriculture et les ressources en eau tandis que la zone de Dionewar apportera une meilleure compréhension des problématiques liées à l'eau et surtout à l'évolution des dynamiques côtières.

Sur la base des caractéristiques agroclimatiques contrastées et symptomatiques de l'hétérogénéité des conditions dans le bassin arachidier, les deux sites de Niakhar (département de Fatick) et Toubacouta (département de Foundiougne) ont été choisis pour réaliser l'étude de vulnérabilité du secteur agricole dans la zone. Le village de Niakhar, avec 4641 habitants, est composé de Niakhar et cinq hameaux dont Sob Maack, Pine Niokhor, Toka Sone, Ngolgame and Ngaraf. Il se trouve dans la zone semi-aride caractéristique de la bande sahélo-saharienne marquée par les sécheresses des années 1970 (Descroix et al., 2015). Le village de Toubacouta, moins peuplé avec 2554 habitants, est composé de Toubacouta et trois hameaux dont Blouf, Keur Diamba et Medina Baka Sarr (Per. Com Autorité locale). Bien que l'environnement se soit dégradé ces dernières années, cette zone du Delta du Saloum caractérisée par un climat soudano-sahélien est une zone encore propice pour l'agriculture.

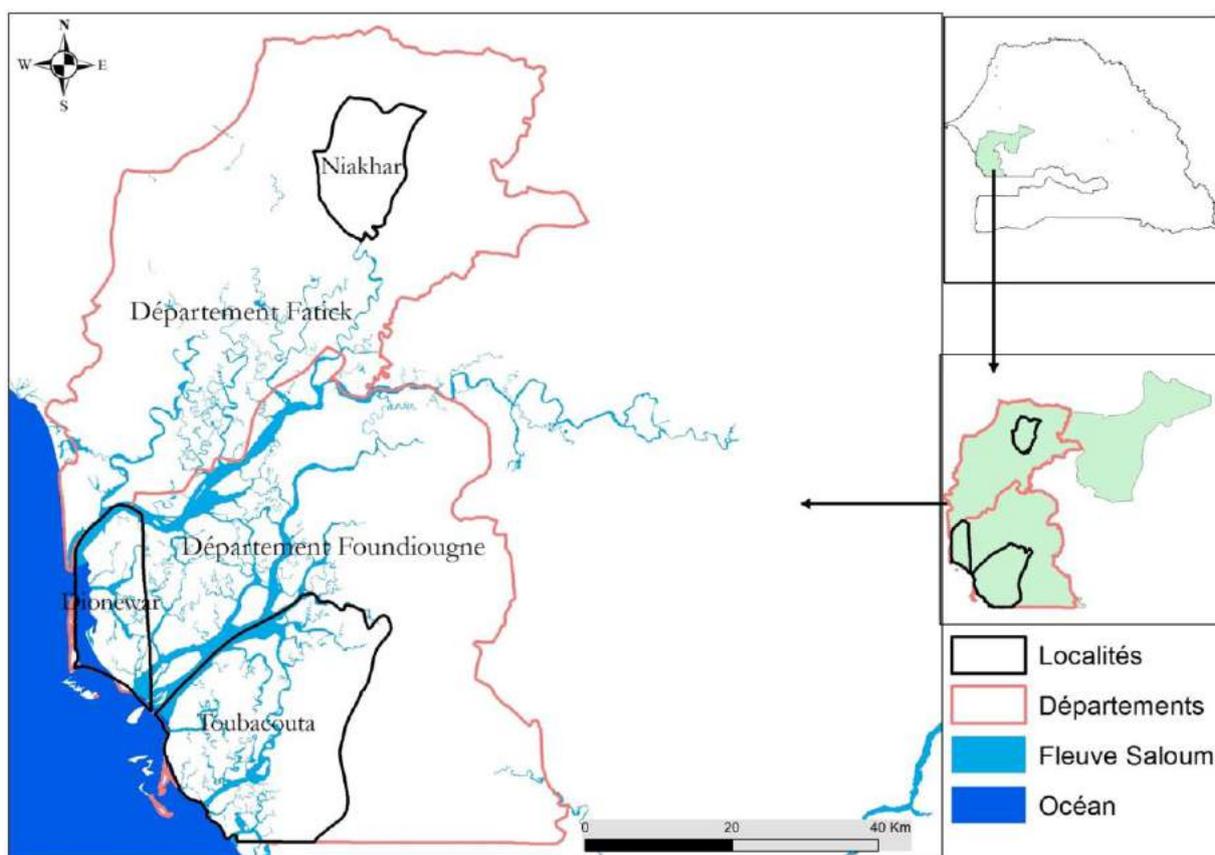


Figure 6 : Localisation des sites d'étude à l'intérieur de la région de Fatick (source : A. Seck, UCAD)

3 Approche générale d'évaluation de la vulnérabilité

Dans le cadre de ce projet, les études de vulnérabilité sectorielles sont développées à travers une approche intégrée. Autrement dit, elles vont être réalisées en interaction les unes avec les autres et permettre de travailler sur les synergies entre les secteurs. Par ailleurs, compte tenu de l'objectif

général des études de vulnérabilité, il est approprié de combiner à la fois l'approche participative et une approche basée sur les données et les résultats issus des travaux menés à l'échelle internationale sur la modélisation du climat futur et de ses impacts (Figure 1). Les conditions sont réunies pour appliquer ce type d'approches car des partenariats directs sont mis en place à travers les consortia, entre les parties prenantes et les scientifiques (Mastrandrea et al., 2010).

- L'approche participative va reposer sur l'implication des communautés locales à travers l'application d'une méthodologie principalement qualitative et sera surtout appliquée à l'étude de la vulnérabilité passée et actuelle (Figure 2).
- L'approche basée sur la modélisation climatique globale va servir dans un premier temps à évaluer les impacts futurs des changements climatiques en se concentrant sur les effets biophysiques (Figure 1). Cette étape repose sur l'utilisation des modèles climatiques (globaux ou régionaux) et des modèles de simulation des impacts. Dans un deuxième temps, il sera possible d'impliquer les différents acteurs afin d'élaborer des scénarios participatifs de développement socio-économique pour la région et de les confronter aux impacts biophysiques futurs des changements climatiques issus des modélisations. Ainsi, les parties prenantes pourront fournir des retours sur les données générées par les modèles, basés sur leur réalité vécue et leur vision du futur (Schröter et al., 2005). Enfin, en combinant ces résultats, ils pourront identifier des options d'adaptation.

Enfin, une approche systémique sera également appliquée permettant de prendre en compte l'ensemble des interactions au sein du système étudié et rendre compte de l'ensemble des enjeux à l'œuvre dans la zone étudiée et des différentes vulnérabilités.

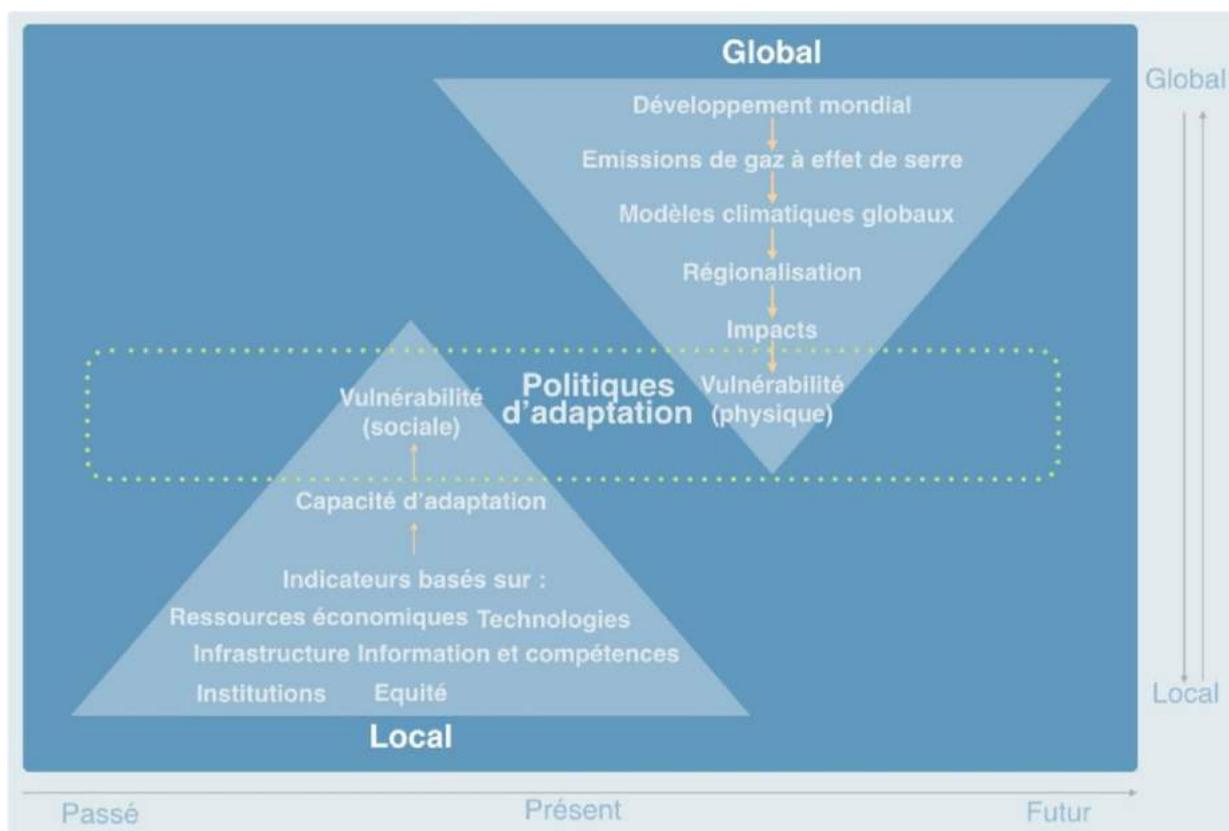


Figure 7 : Approche combinée locale et globale pour gérer les impacts des changements climatiques
(adapté de Dessai and Hulme (2004))

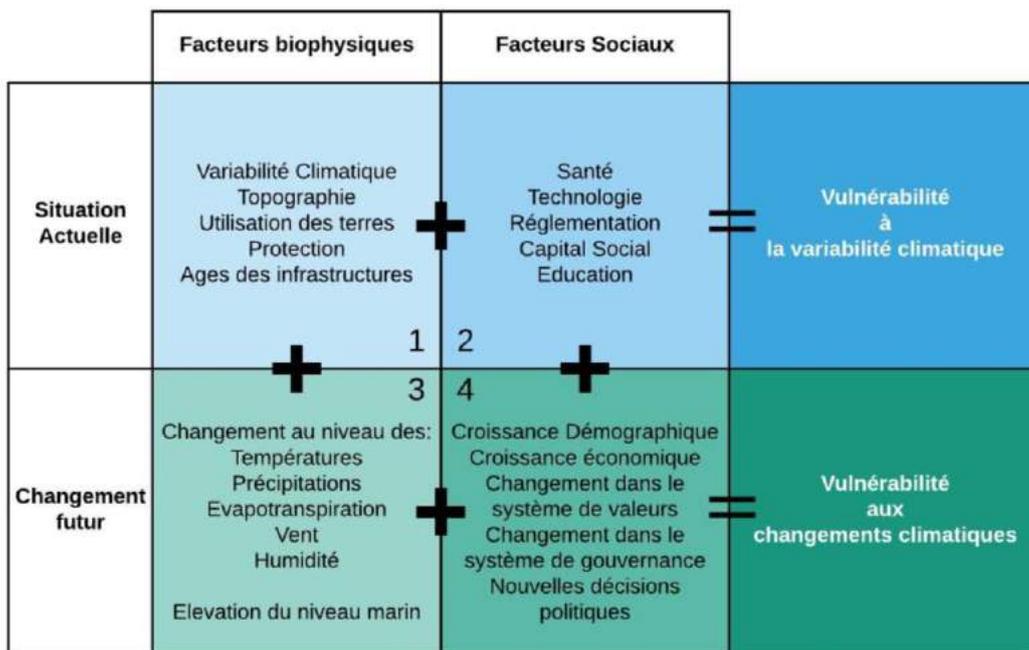


Figure 8 : Déterminants actuels et futurs de la vulnérabilité à la variabilité climatique et aux changements climatiques (traduit (traduction libre de CA) de Assessing Adaptation Knowledge in Europe : Vulnerability to Climate Change, 2017)

Dans le cadre de cette étude de la vulnérabilité du secteur agricole dans la région de Fatik, une approche combinée globale et locale a été appliquée (Fig. 7). Une première revue bibliographique et documentaire a permis de faire un état des lieux initial des connaissances scientifiques disponibles sur le secteur agricole dans la zone (PAS-PNA, 2018). Ensuite, pour évaluer la vulnérabilité actuelle du secteur agricole, des exercices participatifs auprès des populations ont été effectués pour recueillir des données quantitatives sur les ménages, les pratiques agricoles et les perceptions et les représentations de la variabilité climatique (Fig. 8). Ces données ont été complétées par des données qualitatives obtenues à travers des interviews individuelles, des groupes de discussion et des entretiens auprès de groupes ciblés. L'ensemble de ces données ont permis d'évaluer l'exposition, la sensibilité, la capacité d'adaptation des populations ainsi que la vulnérabilité actuelle du secteur agricole dans la zone (Fig. 9).

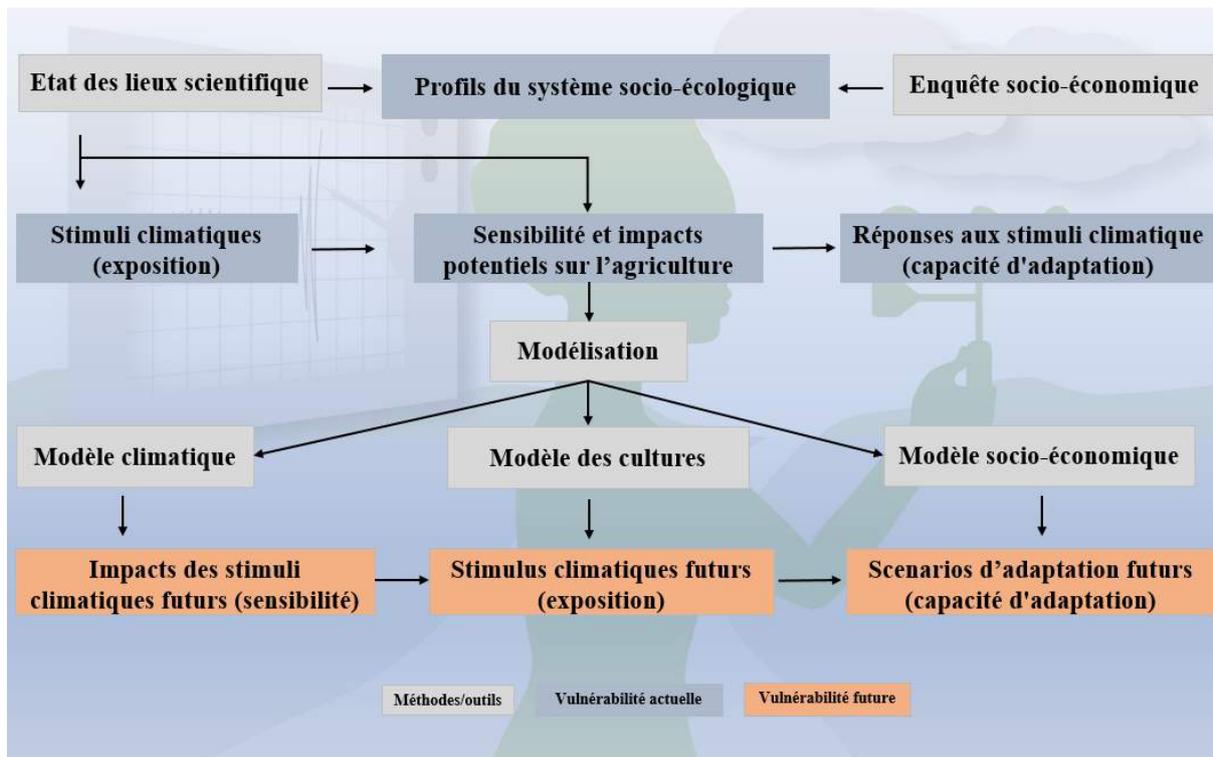


Figure 9 : Approche générale d'évaluation de la vulnérabilité actuelle et future

L'impact des changements climatiques sur l'agriculture a été évalué à l'aide de la modélisation, d'abord un couplage de modèles climatiques avec les données agricoles de quatre cultures majeures dans la zone (arachide, mil, maïs et le sorgho) a été effectué. Les données climatiques redimensionnées d'une résolution de 0.05 degré (50x50km) ont été utilisées comme données d'entrées dans les modèles agronomiques SARRA-H (Système d'Analyse Régionale des Risques Agro-climatiques - H) et DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer). Ces modèles ont permis de faire des projections sur la vulnérabilité future de l'agriculture dans les deux sites d'étude respectifs de Niakhar et Toubacouta. Grâce à ces modèles, l'impact des changements climatiques à l'horizon 2035 et 2050 sur les rendements agricoles, a été évalué. Une analyse de la vulnérabilité socio-économique aux chocs pluviométriques pour le secteur agricole a été également effectué à l'aide du modèle d'équilibre général calculable (MEGC) dynamique PEP-1-t de Decaluwe et al., (2013). Ce modèle dynamique PEP-1-t est un MEGC standard dynamique qui décrit une petite économie ouverte pour laquelle les cours mondiaux sont exogènes, le taux de change fixe et l'équilibre entre l'offre et la demande est atteint sur chaque marché par le biais des variations des prix relatifs. Il a permis d'évaluer les effets des chocs pluviométriques à l'horizon 2035 et 2050 sur : la productivité des secteurs agricoles et des autres secteurs d'activités comme le revenu et le bien être des ménages du bassin arachidier et la croissance économique du Sénégal.

Encadré 2 : Définitions

Adaptation : ajustement des systèmes naturels et humains en réponse aux stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets afin d'atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques (GIEC, 2001).

La vulnérabilité et ses composantes :

- **Vulnérabilité** : degré de capacité d'un système de faire face ou non aux effets néfastes du changement climatique (y compris la variabilité climatique et les extrêmes). La vulnérabilité dépend du caractère, de l'ampleur et du rythme de l'évolution climatique, des variations auxquelles le système est exposé, de sa sensibilité et de sa capacité d'adaptation (GIEC, 2007).
- **Exposition** : la nature et le degré auxquels un système est exposé à des variations et ou des aléas climatiques importants (McCarthy et al., 2001).
- **Sensibilité** : le degré auquel un système est affecté ou modifié de manière négative ou bénéfique, par des stimuli liés au climat. L'effet peut être direct (par exemple, une modification du rendement des cultures en réponse à une de la variabilité de la température) ou indirect (par exemple, des dommages causés par une augmentation de la fréquence des inondations côtières dues à l'élévation du niveau de mer) (McCarthy et al., 2001).
- **Capacité d'adaptation** : capacité d'un système à s'adapter au changement climatique - y compris la variabilité et les phénomènes climatiques extrêmes - à modérer les dommages potentiels, à tirer parti des possibilités offertes ou à faire face aux conséquences (McCarthy et al., 2001).

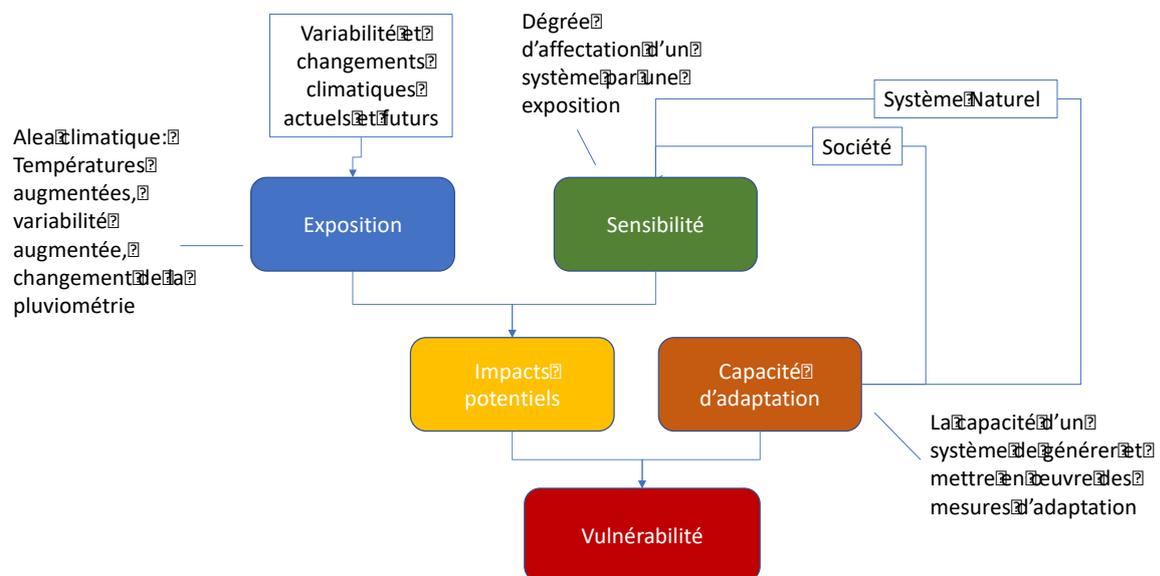


Figure 10 : Chaîne d'impacts selon AR4 du GIEC (Climate Analytics)

4 Etude de la vulnérabilité actuelle

Dans le cadre de l'évaluation de la vulnérabilité du secteur agricole à la variabilité climatique, une enquête a été effectuée à l'aide d'un questionnaire chez des ménages à Niakhar et à Toubacouta. L'objectif général de cet exercice était de recueillir des informations permettant 1) d'identifier le profil socio-écologique, c'est-à-dire définir la situation socio-économique (social, foncier, financier et infrastructure, système agricole) et biophysique de chaque site, 2) de déterminer l'exposition du secteur agricole au climat actuel (Exposition), 3) d'évaluer l'impact de la variabilité climatique sur l'agriculture (Sensibilité), 4) d'évaluer la capacité d'adaptation des populations et 5) de définir les priorités en terme de vulnérabilité du secteur agricole. Ces données sont comparées aux données observées sur le terrain ainsi qu'aux statistiques agricoles sur l'évolution des rendements dans le passé.

4.1 Méthodologie et matériel

4.1.1 Enquête sur le terrain

La méthodologie d'enquête a consisté en une collecte de données sur la base d'un questionnaire comportant des sections sur le profil des ménages, la perception des populations vis-à-vis des changements climatiques, la vulnérabilité du secteur agricole et les stratégies d'adaptation (voir annexe 1). Dans chaque village, y compris les hameaux, un échantillon de concessions (ou carrés) qui sont les unités collectives d'habitat (Bouquillion-Vaugelade et al., 1972) a été choisi sur la base des suggestions de personnes ressources dans le village ou en concertation avec le chef du hameaux, du fait de sa bonne connaissance des familles pratiquant l'agriculture. Le questionnaire d'enquête a été administré à 17% du nombre total de concessions à Niakhar et à Toubacouta. Un total de 83 questionnaires à Niakhar et 39 à Toubacouta a été administré (Tableau 5). Dans chaque concession qui regroupe les membres d'une famille plus ou moins vaste, un ménage est choisi. Le choix des personnes enquêtées dans le ménage s'est référé à l'âge, au sexe et à l'implication dans les activités agricoles. Ainsi le chef de ménage (homme ou femme) ou une personne s'activant dans le domaine agricole (d'une manière générale l'aîné) étaient privilégiés. Les services techniques déconcentrés de l'Etat, notamment les agents de la Direction Régionale du Développement Rural (DRDR), du Centre d'Appui au Développement Local (CADL), et les autorités municipales des communes concernées ont été également ciblés. Des entretiens suivant un guide d'entretien préétabli et des groupes de discussion auprès de différents groupes socio-professionnels ciblés (jeunes, femmes, personnes âgées) ont été effectués dans les deux sites de l'étude.

Tableau 2 : Echantillon enquêté par site composé de la commune et de ses hameaux

Villages	Hameaux	Nombre de personnes interrogées	Nombre Total
Niakhar	Toka Sone	12	83 (17%)
	Ngolgane	4	
	Sob Mack	22	
	Village de Niakhar	31	
	Ngaraf	13	

	Pine Niokhor	7	
Toubacouta	Village de Toubacouta	17	39 (17%)
	Keur Djamba	17	
	Blouf	2	
	Medina Baka Sarr	3	

4.1.2 Acquisition des données agricoles et climatiques

Les données qualitatives issues des enquêtes de terrain sur la perception de la variabilité et du changement climatique par les populations locales ont été complétées par des données quantitatives sur les rendements agricoles des différentes spéculations cultivées dans la zone de Fatick. Ces données de rendements en kg/ha agrégées à l'échelle départementale proviennent de la Direction Régionale du Développement Rural (DRDR) de Fatick. Pour les analyses des risques climatiques dans la zone, les données de températures maximales et minimales de 1991 à 2017 et de pluviométrie de 1950 à 2017 de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) ont été utilisées pour caractériser la variabilité climatique dans les deux sites de l'étude.

4.1.3 Analyse des données

L'analyse des données de l'enquête sur la situation socio-écologique de la zone, l'exposition et la sensibilité du secteur agricole a été effectuée à l'aide du logiciel R (Team, 2015). Le questionnaire administré aux différents ménages contenait des questions liées à la situation socio-économique de ceux-ci (social, foncier, financier et infrastructure, système agricole) et à la perception des populations vis-à-vis de la variabilité et des changements climatiques (température, pluviométrie et paramètres de la saison). Ces données liées aux perceptions ont été confrontées aux données climatiques observées recueillies grâce aux stations météorologiques synoptiques de la zone.

4.1.3.1 Exposition du secteur agricole et probabilité d'occurrence des risques climatiques

L'analyse de la perception des populations et une revue documentaire au niveau de certains documents stratégiques notamment le PANA, les CDN, etc. ont permis d'identifier des risques climatiques dans la zone. Les probabilités d'occurrence de ces risques climatiques sont fournies dans la Contribution du Groupe de travail II du 5ème rapport du GIEC (2014). A chaque probabilité d'occurrence est attribuée une couleur caractéristique comme illustré dans le tableau 3. Les facteurs climatiques sont alors ordonnés suivant l'importance de leur probabilité d'occurrence et sont colorés en fonction des couleurs qui sont assignées à cette probabilité (Tableau 3).

En vue de la détection et du suivi des changements climatiques, une étude de détection de rupture en moyenne a été réalisée sur les données climatiques observées de précipitation et de températures (maximales et minimales) en appliquant le test de (Pettitt, 1979). Le logiciel KhronoStat version 1.01 (Boyer, 1998) a été utilisé pour le test de Pettitt. Par ailleurs, une comparaison des moyennes avant et après la rupture a été effectuée en utilisant le test paramétrique t de Student. (Zabell, 2008).

Tableau 3 : Les probabilités d'occurrence des évènements climatiques et les couleurs attribuées

Terminologie	Probabilité de réalisation d'un événement
Extrêmement probable	Probabilité de réalisation supérieure à 99%
Très probable	Probabilité supérieure à 90%
Probable	Probabilité supérieure à 66%

4.1.3.2 Sensibilité du secteur agricole

A l'aide du questionnaire administré aux populations, des questions relatives à l'impact des stimuli climatiques permettent d'évaluer le degré de sensibilité du secteur agricole. Des statistiques agricoles liées aux rendements des cultures ont également été utilisées pour évaluer cette sensibilité du secteur agricole notamment l'évolution interannuelle des précipitations en lien avec les rendements agricoles depuis 1950.

4.1.3.3 Impacts et valeurs potentielles

Les quatre spéculations ou cultures majeures (mil, maïs, sorgho et arachide) ont été choisies comme unités d'exposition (UE) du secteur agricole aux risques climatiques. Ces cultures sont définies auparavant dans le questionnaire comme étant les principaux éléments définissant le système agricole de la zone, qui peuvent être affectés par la variabilité et les changements climatiques. Dans le questionnaire, des questions liées à ces aspects permettent d'aborder l'impact des risques climatiques sur les spéculations, et notamment sur les différentes phases de développement (de la germination à la maturité). Les impacts sont évalués grâce à la matrice d'impacts constituée des évènements climatiques identifiés et des unités d'exposition (spéculations) (Tableau 4). La valeur de l'impact est obtenue en croisant la probabilité d'occurrence de l'évènement climatique et la conséquence causée sur l'unité d'exposition. Elle varie de Faible (1), Moyen (2), Elevé (3) à Extrême (4).

Tableau 4 : Matrice d'impacts des évènements climatiques

Matrice des impacts		UE1	UE2	UE3	UE4	UE5
Évènements Climatiques	Évènement 1					
	Évènement 2					
	Évènement 3					

4.1.3.4 Capacité et stratégies d'adaptation des populations

La capacité d'adaptation des populations a été déterminée suivant la méthodologie adaptée de (Wall and Marzall, 2006) en identifiant les stratégies d'adaptation mises en œuvre par les populations et les moyens d'existence. Les données nécessaires à cette évaluation ont été recueillies à travers l'enquête et portent sur cinq indicateurs composés de sous-indicateurs qui sont cités dans le tableau 5. Les stratégies d'adaptation développées par les populations ont été identifiées et listées dans la matrice d'adaptation. Les mesures d'adaptation institutionnelles mises en place par l'Etat pour accompagner les populations ont été également identifiées.

Tableau 5 : Analyse des moyens d'existence en lien avec la capacité d'adaptation

Indicateurs	Sous-indicateurs
Physique/Naturel	Fertilité des sols ; Disponibilité des terres ; Nombre de parcelles cultivables ; Equipements et outils agricoles ; Déforestation ; Salinisation des terres ; Dégradation des terres.
Social	Appartenance à une organisation paysanne ; Mode d'acquisition des parcelles ; Raison de la pratique de l'activité principale.
Humain	Nombre de personnes en charge ; Forme et niveau d'instruction ; Nombre d'années d'expérience ; Main d'œuvre ;
Economique	Production alimentaire suffisante ; Ressources alternatives ; Production mil et arachide ; Autres activités génératrices de revenu ; Accès aux ressources (assurance indicielle) et prêts bancaires, soutien financier ; Réserves de semences.
Institutionnel	Projet de gestion durable des terres ; Mesures de prévention de l'aire marine protégée ; Plan Climat du Conseil départemental de Fatick ; Améliorer la planification ; Intégrer les innovations paysannes ; Développement du service climatique.

Chaque sous-indicateur est noté sur 5 en fonction du niveau de sa disponibilité comme indiqué dans le tableau 6. La note de chaque indicateur est obtenue en faisant la moyenne des sous-indicateurs qui le composent. Ce sont les notes des indicateurs qui vont indiquer la capacité d'adaptation des producteurs qui varie de Faible, Modéré à Elevé.

Tableau 6 : Score affecté aux indicateurs des moyens d'existence en fonction de leur disponibilité

Note des sous-indicateurs	1	2	3	4	5
Disponibilité	Totalement disponible	Assez disponible	Disponible	Assez limité	Très limité

4.1.3.5 Priorisation des vulnérabilités

Une fois la capacité d'adaptation déterminée, elle est croisée avec les degrés d'impacts identifiés et permettra d'identifier les priorités en termes de vulnérabilité des UE et les options d'adaptation pertinentes associées. Ainsi une UE avec une valeur d'impact potentiel élevé croisé avec une capacité d'adaptation faible des populations aura une vulnérabilité élevée et sera prioritaire par rapport à une UE moins vulnérable.

4.2 Résultats et Discussion

4.2.1 Profil socio-écologique de la zone

4.2.1.1 Démographie

A Niakhar, l'effectif est essentiellement composé de Sérères (100%), alors qu'à Toubacouta 49% de l'échantillon est de l'ethnie Socé, 31% des Sérères, 15% des Peulhs, 3% des Bambaras et Diahankés. Le pourcentage d'hommes enquêtés (85,4% à Niakhar, 82,1% à Toubacouta) est supérieur à celui des

femmes (14% à Niakhar, 18% à Toubacouta). Cela est peut-être dû à notre choix du point d'entrée porté sur le chef de ménage qui est d'une manière générale l'homme le plus âgé du ménage dans le Sine. A défaut du chef de ménage, une personne active dans l'agriculture était choisie pour répondre aux questions. Le niveau d'instruction en français est respectivement à Niakhar et Toubacouta de 27% et 15% dominé par le cycle primaire, alors que l'instruction coranique plus faible est de 1% et 8%, et l'analphabétisme dans les deux sites est de 40% et 56%.

4.2.1.2 Économie

Malgré les différentes contraintes d'ordre biophysique identifiées dans la zone, la principale source de revenu de 51% des ménages à Niakhar et 33% à Toubacouta reste l'agriculture. D'autres activités génératrices de revenus sont développées par les populations, notamment le commerce avec 20% des ménages à Niakhar et 12% à Toubacouta, les aides familiales que des parents établis en ville ou des fils ou filles fonctionnaires envoient (16% à Niakhar), le maraîchage (15% à Toubacouta) etc (Tableau 5). Cependant il est important de noter que les populations de Toubacouta ont plus d'activités sources de revenus alternatives que celles de Niakhar avec le développement du secteur touristique et des activités maraîchères.

4.2.1.3 Pratiques agricoles

L'agriculture vient en première position (96% de l'effectif), suivie de l'élevage (1/3 environ de l'effectif) puis le commerce (petit commerce). Cette classification paraît normale vu l'importance de l'agriculture dans la zone et puisque l'enquête visait principalement les chefs de ménage qui portent les activités du ménage. L'agriculture est majoritairement de type pluvial avec les principales spéculations comme le mil (Souna, Sanio), l'arachide, le maïs, le sorgho et accessoirement le niébé (Fig.3). Bien qu'ayant une pluviométrie supérieure à celle de Niakhar, il faut noter que le mil Sanio n'est plus cultivé à Toubacouta. Une situation assez paradoxale, mais l'attachement à la culture de cette variété de mil serait liée à des aspects culturels des populations de Niakhar (Müller et al., 2011). Au niveau de la priorisation des cultures, le mil est le premier choix destiné à la consommation, ensuite l'arachide pour la vente, le sorgho et le maïs pour la consommation et la vente. Cette priorisation peut s'interpréter comme étant la résultante d'un choix raisonné certainement sous-tendu par une stratégie de sécurité alimentaire. Les superficies moyennes emblavées par concession sont de 2,09 ha (mil) et 1,27 ha (arachide) à Niakhar et 3 ha (mil) et 2,4 ha (arachide) à Toubacouta avec une production moyenne de 1300 kg (mil) et 847 kg (arachide) et 1333 kg (mil) et 1510 kg (arachide) respectivement. A cause de la baisse de la fertilité des sols, 86,2% de l'effectif à Niakhar et 69,2% à Toubacouta combine la fumure organique à la fumure minérale, alors que 6,5% et 13% respectivement utilise la fumure organique seulement, et 2,4% et 15% utilise la fumure minérale uniquement. Parmi les différentes cultures, le mil bénéficie de plus de fumure (organique et chimique) et de produits de traitement que les autres cultures.

Les principales contraintes liées à la pratique de l'agriculture dans les deux localités sont 1) la disponibilité des terres, 2) l'accès aux intrants agricoles et 3) la variabilité de la pluviométrie. Chez les paysans dans les deux localités, l'acquisition de terres se fait généralement par héritage (70%), emprunt chez un voisin (7%), location (2%) ou autres. La superficie moyenne des terres réservées à la culture du mil et de l'arachide par ménage est de 4,38 ha, avec une forte différence entre les deux villages (3,36 ha à Niakhar contre 5,4 ha à Toubacouta). Le nombre moyen de personnes en charge par concession diffère entre les villages (12 personnes en moyenne à Niakhar contre 10 à Toubacouta). Cela montre la forte démographie à Niakhar avec une population estimée à 4641 habitants contre

2554 habitants à Toubacouta. Une forte pression est exercée sur les ressources foncières à l'origine d'une perte considérable de terres cultivables. En effet, à Niakhar, 23% des personnes enquêtées affirment avoir perdu une partie de leurs terres cultivables à cause des délibérations de la municipalité sur l'attribution de terrains à usage d'habitations.

Dans le système agricole sénégalais, les semences pour les cultures vivrières (mil, maïs et sorgho) sont prises des greniers paysans (Sultan, 2017), contrairement aux cultures de rente (arachide, niébé) qui proviennent soit des coopératives agricoles, ou qui sont soit achetées au marché. A Niakhar et à Toubacouta, respectivement 53% et 56% de l'effectif affirme avoir une production suffisante pour l'hivernage 2017/2018 qui leur permet de réserver des semences, cependant plus de 45% de la population dépend du marché ou des coopératives agricoles, dont la distribution des intrants se fait d'une manière parfois inéquitable ou n'arrive pas au moment souhaité par le paysan.

Seulement 14% de la population à Niakhar et 5% à Toubacouta appartient à des organisations paysannes (OP) ou travaille avec des projets agricoles exécutés dans la zone comme le PAFA (Projet d'Appui aux Filières Agricoles), le PSEME (Projet des Services des Entreprises du Mil) avec l'organisation non gouvernementale (ONG) CLUSA (Cooperative League of America) et le CRS (Catholic Relief Services), mais aussi l'association JAM BUGUM de Niakhar et l'ONG NEBEDAY à Toubacouta. Ces organisations ont pour rôle d'accompagner les populations et de les former sur des pratiques agricoles adéquates mais aussi de contribuer à l'amélioration durable des moyens d'existence des exploitations familiales.

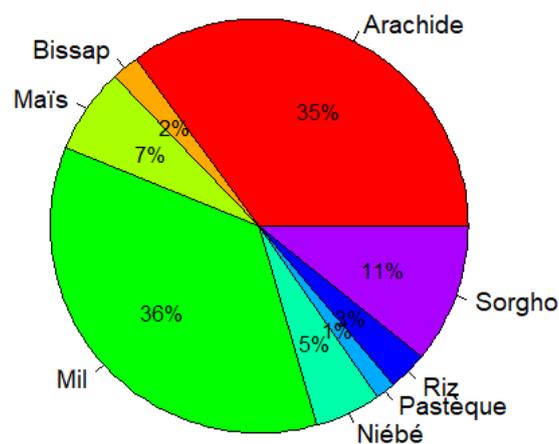


Figure 11 : Les différentes cultures recensées dans les deux sites de Niakhar et Toubacouta

4.2.2 Exposition

L'exposition du secteur agricole à la variabilité et aux changements climatiques se traduit par l'impact des risques climatiques actuels identifiés dans la zone sur les cultures. Ces facteurs climatiques sont à l'origine de stress hydrique ou thermique qui affectent la physiologie des plantes mais également une dégradation des sols et par conséquent une réduction globale des rendements agricoles. Ces cultures constituent ainsi les principales unités d'exposition du secteur agricole.

4.2.2.1 Les unités d'exposition

Le mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) : Le mil est l'aliment de base pour de nombreux pays d'Afrique subsaharienne et d'Asie. Le Sénégal est l'un des 10 plus grands producteurs de mil au monde (FaoStat, 2013), où les agriculteurs distinguent deux principaux cultivars en fonction de la durée de leur cycle : Souna pour le cycle court (90 jours) et Sanio pour le cycle long (120 jours). Parmi les variétés cultivées dans la zone du Sine Saloum, il y a les variétés paysannes de Souna, le *Sanio*, et les variétés améliorées *Souna3* et *Thialack*.

Besoins en eau : C'est une culture à faibles besoins en eau, résistant à la sécheresse avec une capacité élevée d'absorption d'eau dans le sol par son système racinaire. Il a des besoins en eau croissants avec le cycle (345 mm pour 75 jours ; 420 mm pour 90 jours ; 600 mm pour 120 jours), liés à la demande évaporative (Dancette, 1980). Mais il peut être cultivé dans des zones ayant des précipitations minimales de 280 à 350 mm et maximales comprises entre 600 et 1000 mm par année. De la floraison à la maturité, un minimum de 2,5 mm d'eau par jour pour une croissance normale et de 3,7 mm pour un rendement supérieur est requis. Les étapes de germination, de tallage, de floraison et de remplissage des grains sont des périodes critiques pour le stress hydrique (Hausmann et al., 2007).

Température : Le mil peut être cultivé dans des conditions très variées avec des extrêmes de température minimale de 8 à 10°C pour la germination et jusqu'à 40°C de température maximale. C'est une céréale sensible à la photopériode du jour et qui tolère les températures élevées tout au long de son cycle de vie mieux que la plupart des autres cultures. Les meilleurs rendements de mil sont obtenus lorsque la température moyenne est autour de 26 à 29°C pendant la période de croissance.

Le mil est bien adapté aux sols secs et infertiles, et il est souvent cultivé dans des conditions extrêmes : souvent sur des sols acides, peu fertiles ayant une faible capacité de rétention d'eau.

L'arachide (*Arachis hypogaea* L. ssp. *Fastigiata*) est la première culture de rente au Sénégal, originaire du bassin amazonien. Les variétés d'arachides principalement cultivées dans la zone encore appelée bassin arachidier sont les variétés **73-33**, **Fleur 11** et **55-33**.

Besoin en eau : C'est une culture avec des stades dont la sensibilité à la sécheresse est variable : les besoins en eau sont élevés au moment de l'imbibition de la graine qui, une fois la germination amorcée, craindra l'excès d'eau. La période de floraison-formation des gousses (30-70 jours après semis) correspond à une phase de sensibilité à la sécheresse, alors que la phase finale de maturation sera favorisée par une sécheresse relative, des pluies à ce stade pouvant en outre provoquer des germinations sur pied chez les variétés non dormantes. Une pluviométrie comprise entre 500 et 1000 mm pendant la saison de culture permet généralement d'obtenir une bonne récolte, mais la bonne répartition des pluies en fonction du cycle de la variété est plus importante que le total pluviométrique (Schilling, 2001).

Température : Les températures inférieures à 15°C et supérieures à 45°C ralentissent ou bloquent la croissance, l'optimum se situant entre 25 et 35°C. Les températures trop basses ou trop élevées, ont pour effet de prolonger le cycle, voire de bloquer définitivement la germination ou le développement. L'arachide est peu sensible à la photopériode, mais les jours longs ont un effet positif sur sa productivité.

Le Sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench subsp.) : Le sorgho est la cinquième culture céréalière la plus importante au monde et il est l'une des principales céréales produites dans de nombreux pays africains. C'est une culture vivrière de subsistance importante pour les agriculteurs dans les régions arides et moins développées d'Afrique. Le sorgho résiste moins à la sécheresse que le mil, et pour une variété de sorgho de cycle court (90 jours), il faut une pluviosité bien répartie sur la durée du cycle située entre 500 et 600 mm ; 650 à 800 mm pour une variété de cycle moyen (110 à 120 jours) ; 950 à 1100 mm pour une variété de cycle long (supérieur à 130 jours), pour assurer un rendement optimal dans des conditions de bonne fertilité des sols. Cependant le sorgho est sensible aux inondations, en particulier pendant les 30 jours après la levée. Parmi les variétés cultivées dans la zone il y a la variété **CE 151-262** et la **F2-20**.

Le Maïs (*Zea mays* L.) : Le maïs est l'une des cultures céréalières les plus importantes en Afrique subsaharienne et constitue un aliment de base important pour plus de 1,2 milliard de personnes en Afrique subsaharienne et en Amérique latine. Les variétés suivantes sont cultivées dans la zone du bassin arachidier : **Xeewel Gi, Noor 96, Do Mer, Sooror, Gaw na, Jaboot, Goor Yomboul**

Besoin en eau : Le maïs nécessite une quantité considérable de précipitations entre 500 à 750 mm bien répartie dans le temps pour une croissance adéquate. C'est une culture relativement résistante à la sécheresse, surtout durant la phase de germination jusqu'au stade de floraison, et ensuite durant la phase de maturité. Par contre il nécessite plus d'eau pendant la phase de reproduction.

Température : La température moyenne idéale pour le maïs est autour de 22°C et une température nocturne supérieure à 15°C. Il nécessite une chaleur considérable depuis la phase de germination jusqu'à la floraison. L'exposition lors de la phase de floraison à des températures supérieures à 35°C pendant plusieurs jours détruit le pollen et réduit considérablement les rendements (sensibles aux premières vagues de chaleur).

4.2.2.2 Risques agro-climatiques et probabilités d'occurrence

Suite à l'analyse des données issues de l'enquête et à partir de certains documents officiels comme le PANA et les CDN, des indicateurs de risques climatiques liés aux tendances climatiques durant la saison des pluies ont été identifiés. Sur la base du document de la Contribution du Groupe de travail II du 5^{ème} rapport du GIEC (2014), les probabilités d'occurrence suivantes ont été attribuées à chaque risque climatique.

Risque 1 : Pauses sèches : probable (probabilité > 66%) ;

Risque 2 : Cumul pluviométrique : probable (probabilité > 66%) ;

Risque 3 : Faux départ et fin précoce des pluies : très probable (probabilité > 90%) ;

Risque 4 : Hausse des températures observées : extrêmement probable (probabilité > 95%).

Parmi ces risques climatiques nous avons :

- **La Hausse des températures** : L'évaluation de cette hausse des températures a été effectuée grâce à l'évolution interannuelle des températures minimales et maximales. Suivant les données observées, une hausse des températures est notée dans la zone et les températures minimales sont plus sensibles que les températures maximales (Fig. 12). Cette sensibilité et la tendance positive (+ 1,8 °C) des températures minimales a été déjà montré par (Kosmowski et al., 2015) sur des données chronologiques de 1965 à 2013 relevées à Bambey.

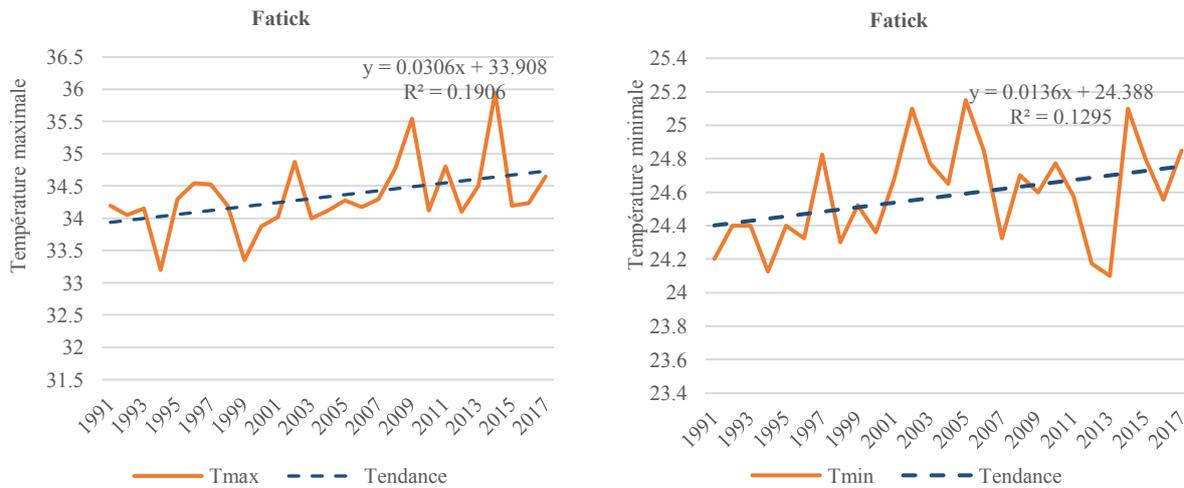


Figure 12 : Evolution interannuelle des températures minimales et maximales à la station de Fatick de 1991 à 2017 (Source des données : ANACIM, Image : Projet PAS-PNA).

- Les séquences sèches :** Elles correspondent aux nombres de jours consécutifs sans pluies qui se trouvent entre deux jours pluvieux (un jour est pluvieux lorsque son cumul est supérieur ou égal à 1 mm). L'évolution interannuelle des séquences sèches effectuée à partir de données de la station de Kaolack de Sarr, (2012) montre une forte probabilité d'occurrence des séquences sèches supérieures à sept jours au mois de juillet dans la zone. Cependant cette probabilité a tendance à diminuer aux mois d'août et de septembre. Par ailleurs, la probabilité d'avoir des séquences sèches supérieures à 15 et 20 jours est très faible voire inexistante pour les mois d'août et de septembre. Cependant pour le mois de juillet, cette probabilité est de 20% pour des séquences sèches supérieures à 15 jours, et de 14% pour des séquences supérieures à 20 jours (Fig. 13).

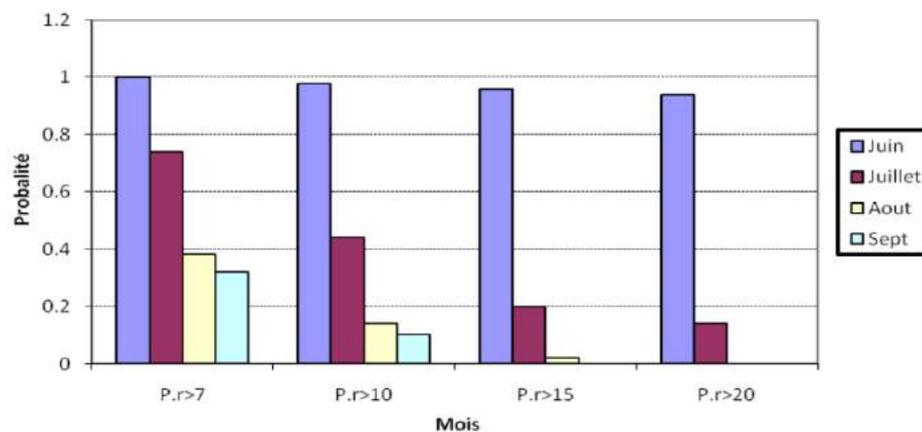


Figure 13 : Probabilités d'occurrence des séquences sèches (Station de Kaolack, Source : Sarr, 2012)

- Démarrage tardif et fin précoce des pluies** : Le démarrage tardif correspond à l'installation tardive d'une pluie conséquente observée entre les mois de mai-juin-juillet (plus de 20mm) dans les zones de cultures (Sivakumar, 1992). La fin précoce correspond à une pause pluviométrique d'une semaine ou plus observée sur un rayon d'au moins 70 km autour d'un pluviomètre et observée dans la période août-septembre (Salack, 2013). Les séquences sèches relatives aux faux départs sont celles dont la durée est supérieure ou égale à 15 jours, observées en mai-juin-juillet selon la zone, tandis que les fins précoces sont caractérisées par des séquences sèches de 8 à 14 jours observées entre août et septembre. L'analyse de l'évolution interannuelle des paramètres de la saison issue des données des stations de Fatick et Foundiougne montre : une tendance nette au retard de l'installation de la saison dans les deux sites ; une tendance légère de la précocité des dates de fin de saison, et par conséquent une tendance au raccourcissement des saisons à Fatick et une légère augmentation à Foundiougne (Fig. 14).

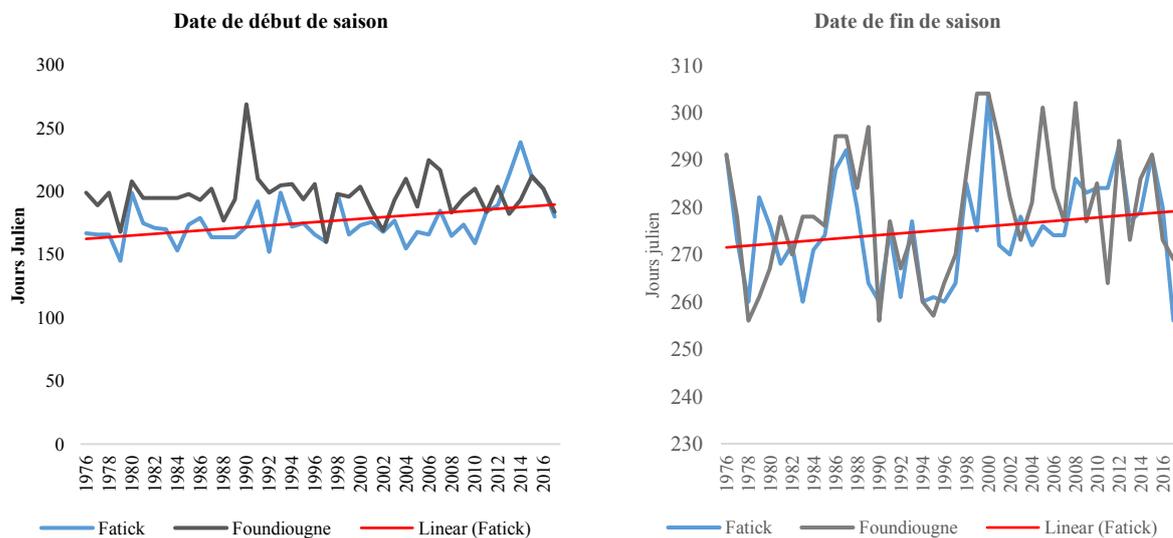


Figure 14 : Evolution interannuelle des dates début et de fin de saisons issues des stations météorologique de Fatick et Foundiougne (Source des données : ANACIM)

- Cumul pluviométrique** : L'évolution interannuelle des cumuls pluviométriques des stations de Fatick et Foundiougne de 1976 à 2017 montre une tendance à la hausse (Fig. 15). Cependant cette augmentation des pluies a été marquée par une rupture intervenue en 2007 subdivisant la série chronologique de 1976 à 2017 en deux sous-séries (1976-2007 et 2007-2017) pour la station de Fatick. Pour la station de Foundiougne aucune rupture n'a été détectée. La comparaison des deux moyennes des deux sous-séries (1976-2007 : 104,03mm et 2008-2017 : 144,63mm) pour la station de Fatick fait ressortir une augmentation statistiquement significative d'environ 24% (Fig. 15).

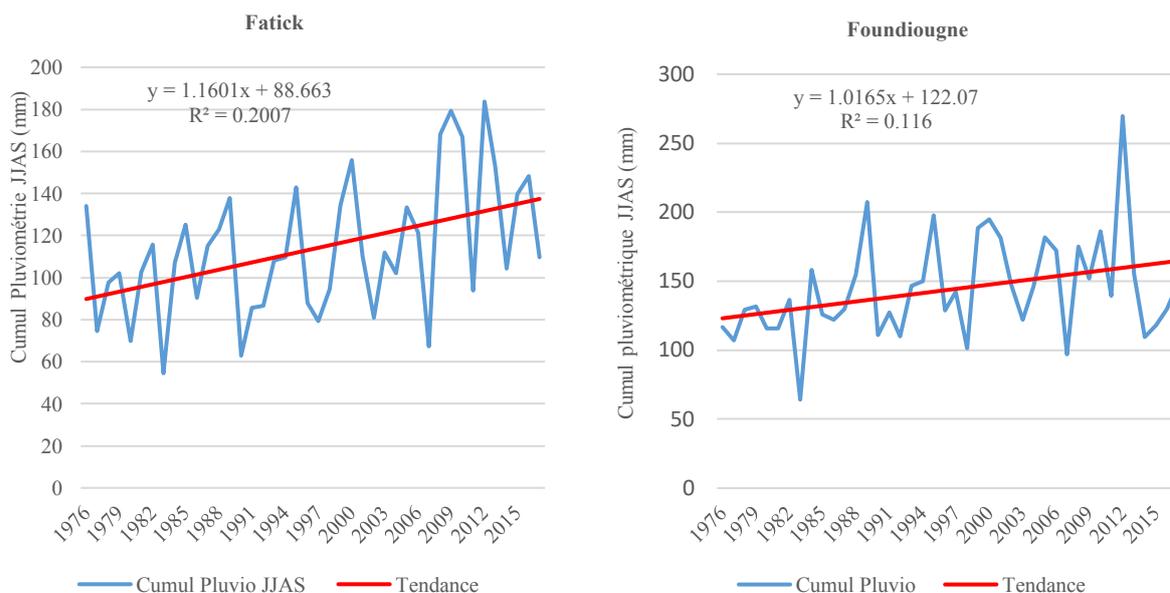


Figure 15 : Anomalies standardisées de la pluviométrie des stations de Fatick (gauche) et Foundiougne (droite)

4.2.2.3 Perceptions des populations par rapport aux tendances climatiques

Les principales contraintes de l'agriculture dans les deux sites de l'étude sont les aléas climatiques principalement liés à la pluviométrie et à la température. Pour comprendre le lien entre les activités agricoles et l'impact du climat, nous avons évalué la perception de la population de différents paramètres climatiques dans le passé (il y a 20-30 ans) et actuellement (depuis 10 ans). Parmi les facteurs climatiques ciblés nous avons les paramètres liés à la saison, la pluviométrie, la température et les événements extrêmes (vents violent, fortes pluies etc.).

- **Paramètres de la saison**

Près de 80% des personnes enquêtées à Niakhar et à Toubacouta considèrent que l'hivernage dans le passé (il y a 20 à 30 ans) commençait au début du mois de juin (Fig. 16, gauche), alors qu'actuellement les premières pluies arrivent à la fin juin ou au début du mois de juillet selon plus de la moitié des personnes enquêtées pour chaque cas (Fig. 16, droite).

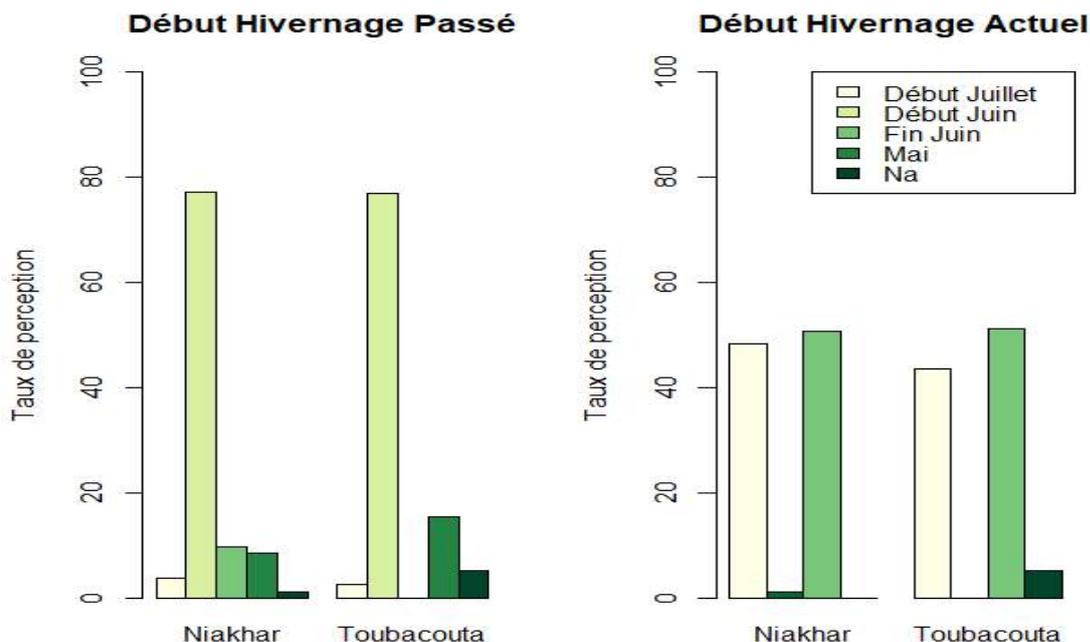


Figure 16 : Perception des populations sur l'évolution du début de l'hivernage actuel et dans le passé, A gauche : Début de l'hivernage dans le passé, A droite : Début de l'hivernage actuel

Pour 60% des personnes enquêtées à Niakhar et 62% à Toubacouta, dans le passé l'hivernage s'arrêtait respectivement durant le mois d'Octobre et Novembre (Fig. 17, gauche), alors qu'actuellement près de 60% des personnes rencontrées estime que l'hivernage s'arrête durant le mois de septembre à Niakhar et octobre à Toubacouta (Fig. 17, droite).

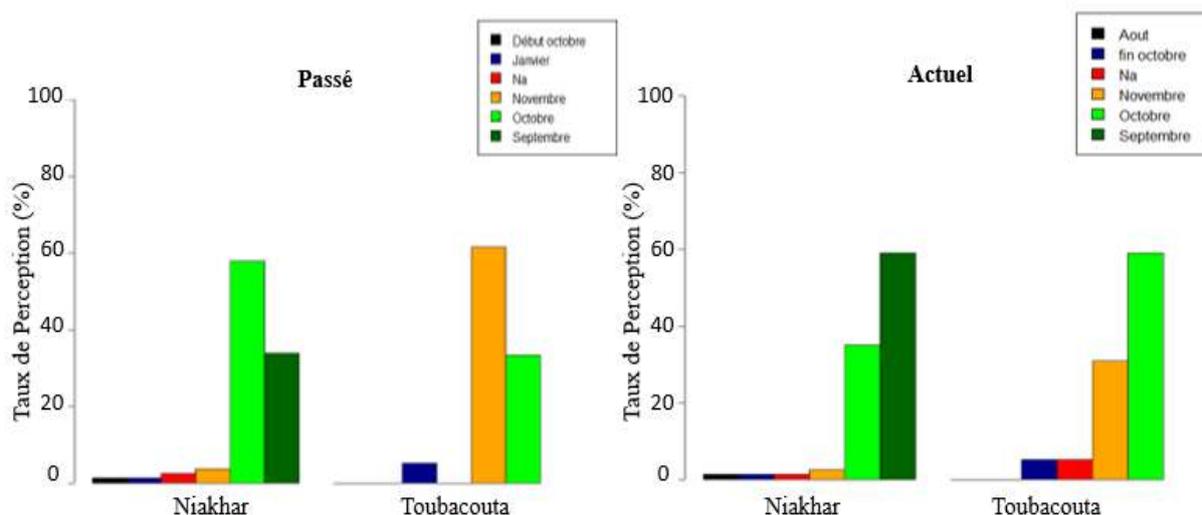


Figure 17 : Perception des populations sur l'évolution de la fin de l'hivernage actuel et dans le passé, A gauche : Fin de l'hivernage dans le passé, A droite : Fin de l'hivernage actuel

Il ressort de la perception des populations locales sur l'évolution du début et de la fin de l'hivernage un décalage d'environ un mois entre les débuts et fins de l'hivernage dans le passé et ceux actuels. Ceci se traduit par un retard de l'installation de l'hivernage et un arrêt précoce des pluies qui entraîne

un raccourcissement de la durée de la saison. Cette appréciation des populations est prouvée par les données observées de l'ANACIM qui révèlent une légère tendance au retard de l'installation de la saison, une tendance nette de la précocité des dates de fin de saison (Fig. 14). Par conséquent, une tendance globale au raccourcissement des saisons est notée à Niakhar alors qu'une légère tendance à l'augmentation de la longueur de la saison est observée avec la station de Foundiougne. Cette dernière observation est en accord avec les récents résultats sur l'évolution de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest mettant en évidence une augmentation de dix jours depuis 1999 dans tout le Sénégal et la Mauritanie (Descroix, 2018; Descroix et al., 2015).

- **Pluviométrie**

La figure 18 indique qu'une grande majorité de la population dans les deux sites d'étude perçoivent la variabilité climatique. Près de 60% des personnes enquêtées à Niakhar et 85% à Toubacouta considèrent que les saisons sont de plus en plus sèches par rapport à il y a 30 ans environ. Cette observation des populations est incohérente avec les données observées puisque le déficit de pluie cumulée le plus fort à Fatick comme au Sénégal et en Afrique de l'Ouest a eu lieu vers 1986. Dans le Sahel central une perception similaire d'une baisse des pluies par les populations est expliquée par une diminution de l'infiltration de l'eau dans les sols qui ont une faible capacité de rétention à cause de leur dégradation, occasionnant de forts ruissellements et une multiplication des inondations. Ainsi la sécheresse climatique des années 70 serait suivie d'une sécheresse édaphique dans beaucoup de pays en Afrique de l'Ouest.

Par rapport à la répartition des pluies dans les deux sites, la variabilité spatio-temporelle fait l'unanimité avec près de 98% des personnes enquêtées qui considèrent que la répartition des pluies actuelles est très variable (Fig. 18). Cette variabilité augmenterait au cours du temps à cause de l'intensification des pluies dues au réchauffement climatique.

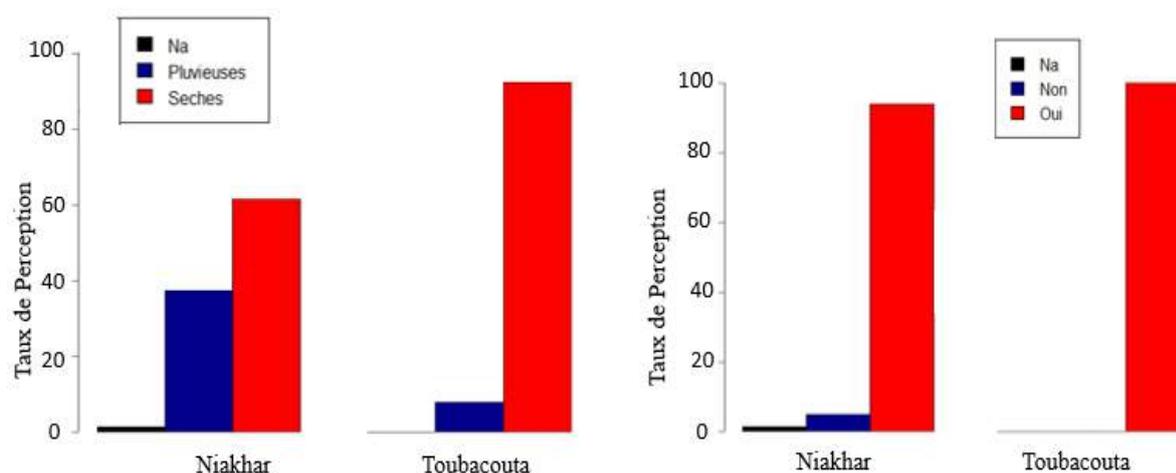


Figure 18 : Perception des populations sur l'évolution de la pluviométrie (gauche), et la variabilité spatio-temporelle (droite)

Selon une grande majorité des populations dans les deux sites, la durée des séquences sèches a augmenté dans le temps. Elle est passée selon les personnes enquêtées de 13 à 17 jours à Niakhar et de 10 à 15 jours à Toubacouta. Leur fréquence a également connu une hausse de 1 à 2 fois par an pour

les deux localités (Tableau 7). Ces séquences sèches de plus de 10 jours ont près de 40% de probabilité de survenir durant le mois de juillet et plus de 80% durant le mois de juin selon les données observées.

Tableau 7 : Perception des populations sur l'évolution de la durée et de la fréquence des séquences sèches

Localités	Durée moyenne des séquences sèches (en jours)		Fréquence annuelle d'apparition des séquences sèches	
	Passé (20 à 30 ans)	Actuel	Passé	Actuel
Niakhar	13	17	1	2
Toubacouta	10	15	1	2

- **Température**

La grande majorité des personnes enquêtées (78% à Niakhar et 65% à Toubacouta), considère que le climat devient de plus en plus chaud (Fig. 19, gauche). Cette augmentation se fait ressentir le plus souvent durant l'hivernage. Selon près de 60% des personnes enquêtées dans les deux sites, la hausse des températures se fait plus ressentir durant la journée, car les nuits ont tendances à être plus fraîches (Fig. 19, droite). Selon les données observées, cette hausse est bien notée et les températures minimales enregistrées durant cette période sont plus sensibles.

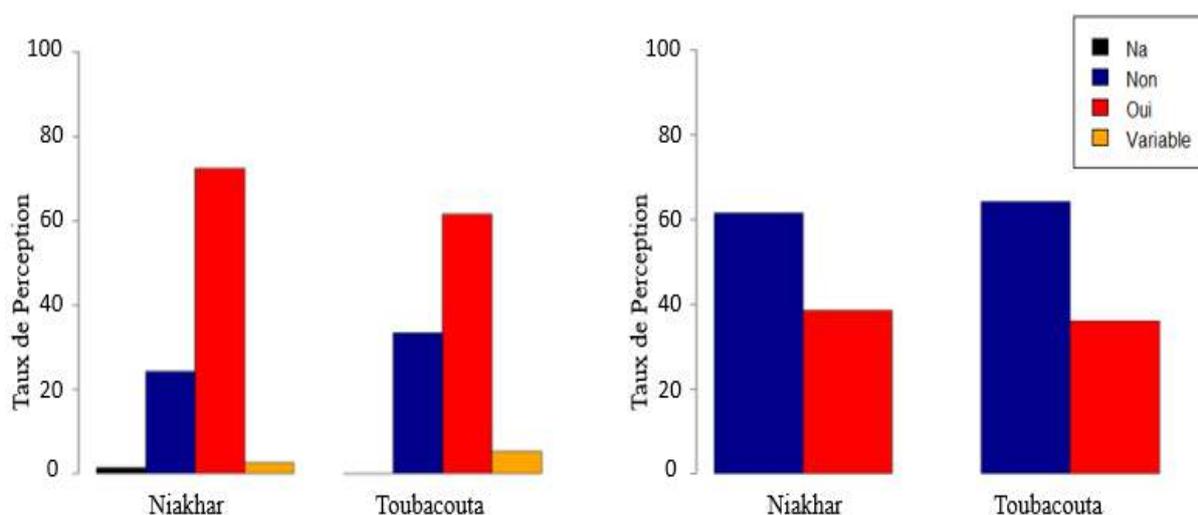


Figure 19 : Perception des populations sur l'évolution de la température, à gauche : Climat de plus en plus chaud, à droite : Les nuits de plus en plus chaudes

- **Evènements extrêmes**

Dans les deux sites d'étude de Niakhar et Toubacouta, les évènements extrêmes les plus fréquents perçus par les populations sont : les pluies plus intenses, les vents violents et les pauses sèches (Fig. 20). Cependant ces évènements sont perçus à des proportions variables suivant les localités, par exemple à Niakhar 44% des personnes enquêtées considèrent que l'intensité des pluies est plus forte alors que 41% considèrent qu'elle est de plus en plus faible. Cependant à Toubacouta près de 60% des personnes enquêtées considèrent que l'intensité des pluies est plus faible. De la même manière plus de 50% dans les deux localités considèrent que les vents actuels sont de plus en plus violents. Par contre une partie non négligeable des personnes enquêtées (43%) dénotent une diminution de

l'intensité des vents à Niakhar. On peut noter une perception hétérogène des événements extrêmes chez les populations dans les deux localités. Néanmoins une grande partie de l'effectif perçoit une hausse des événements extrêmes en particulier les pluies intenses, comme le montre Panthou et al., (2015) sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest.

Un certain nombre d'événements climatiques extrêmes marquants dans la zone ont été identifiés dans le discours des populations (Tableau 8). La chronologie de ces événements a été effectuée grâce aux dates approximatives que donnent les populations mais aussi avec l'appui de quelques documents officiels sur l'histoire climatique de la zone.

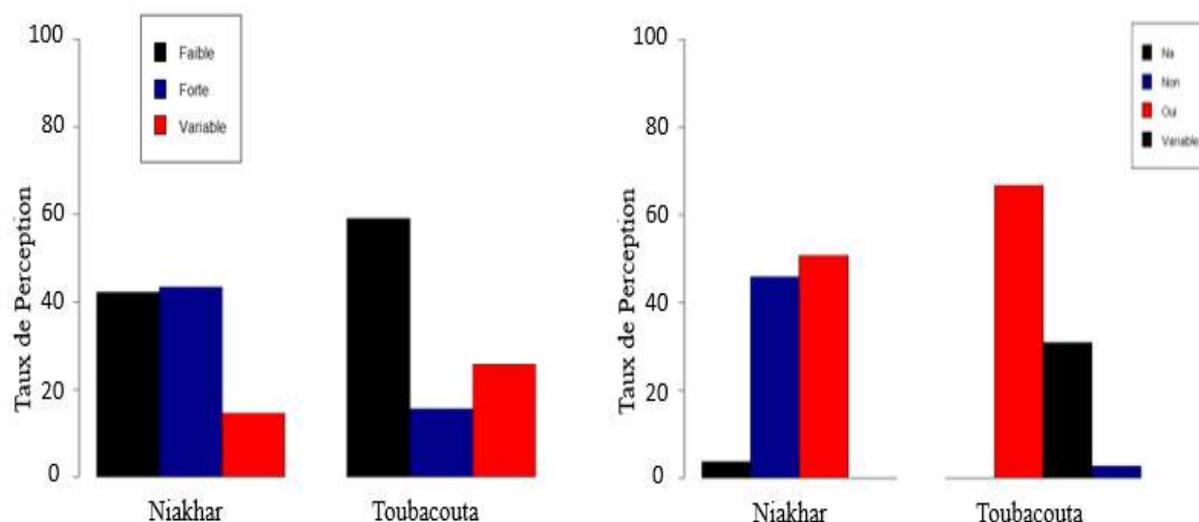


Figure 20: Perception des populations sur les événements extrêmes, à gauche : Intensité des pluies actuelles, à droite : Intensité des vents actuels

Tableau 8 : Repères d'événements extrêmes dans la région de Fatick il y a 20 à 30 ans

Évènement extrême	Période	Caractéristiques
Sécheresse	Années 70	Appelée « maral ». Les saisons étaient plus pluvieuses avant mais depuis cette sécheresse les pluies ne sont plus normales.
Attaques de criquets pèlerins	1987 et 1998	Ces attaques ont été ressenties sur une bonne partie de l'Afrique de l'Ouest, mais dans le Sine les populations se rappellent de ces événements à cause de leur ampleur sur les cultures.
Vague de chaleur	1998	Une chaleur intense a causé beaucoup de dégâts sur les cultures notamment les cultures maraîchères à l'époque.
Arrêt précoce des pluies	2003	Un déficit pluviométrique causé par un arrêt précoce des pluies durant l'hivernage de 2003 à eu un impact sévère sur les cultures notamment, le mil qui n'était pas arrivé en maturité.

Inondations	2012	Une pluviométrie excédentaire a été notée un peu partout dans le pays, et a causé des dégâts sur les cultures pluviales.
Mauvaise installation de l'hivernage	2013	Un retard de la première pluie a eu un impact sérieux sur les rendements qui ont connu une baisse considérable.
Vents violents en période de floraison	2017	De forts vents ont causé des dégâts importants sur les cultures en 2017, particulièrement sur le mil.

4.2.3 Sensibilité

4.2.3.1 Impact sur le secteur agricole

L'agriculture essentiellement de type pluvial dans la zone de Fatick est dominée par quatre principales cultures dont le mil, le maïs, le sorgho et l'arachide qui constituent des unités d'exposition. L'évolution interannuelle de leurs rendements par rapport à l'évolution pluviométrique montre les impacts des stimuli climatiques dans le passé.

4.2.3.1.1 Impacts sur les rendements agricoles

L'essentiel de la production agricole dans la région de Fatick dépend des cultures pluviales (96% des superficies emblavées). Les cultures et les rendements sont donc étroitement dépendants des pluies, de leur durée, de leur répartition, de leur abondance ou de leur déficit (Alhassane et al., 2013 ; Dancette, 1980 ; Schilling, 2001). La péjoration du climat, particulièrement le déficit pluviométrique, constitue depuis le début des années 1970 la contrainte principale qui pèse sur le développement et la croissance du secteur agricole sénégalais, bien que cette situation se soit améliorée depuis 2010 avec un retour des pluies dans quelques parties du Sahel (Bodian, 2014). Il est important de noter que la quantité de pluie ne détermine pas à elle seule la production agricole. C'est ce qui explique que durant certaines années la pluviométrie est importante alors que les productions ne le sont pas. D'autres facteurs que la pluviométrie, comme la régularité et la distribution spatio-temporelle, sont des éléments essentiels pour la croissance et la productivité des plantes cultivées. En utilisant la moyenne saisonnière des mois de juin-juillet-août-septembre correspondant à la saison pluvieuse, cette variabilité a été réduite et on distingue une relation entre les moyennes saisonnières des pluies et les rendements des cultures dans la zone de Fatick (Fig. 21). La dispersion moyenne des points autour de la courbe de tendance pour les rendements des céréales et l'arachide et les coefficients de détermination (R^2) supérieurs à zéro montrent que les moyennes saisonnières pluviométriques sont impliquées dans la variation des rendements agricoles. Cependant, d'autres facteurs comme la répartition spatio-temporelle des pluies influencent l'évolution des rendements.

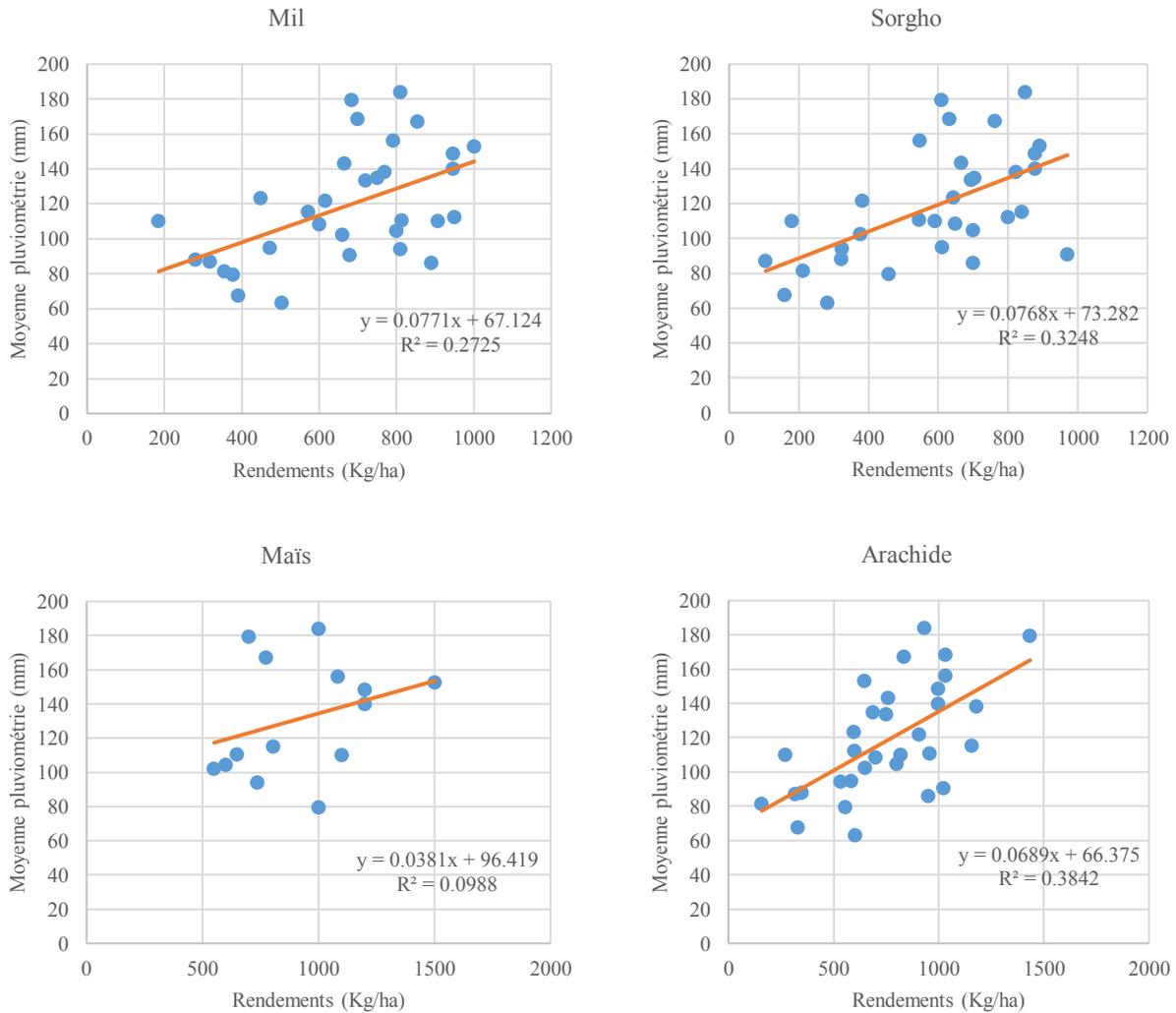


Figure 21 : Corrélation entre la pluviométrie (station de Fatick) et les rendements agricoles par spéculation

Sur le plan régional, une tendance à la hausse des rendements de céréales (mil, sorgho et maïs) est notable depuis les années 80 (Fig. 22). Cette tendance régionale est similaire aux moyennes nationales durant cette période avec une augmentation des rendements plus accentuée pendant les années 2000, probablement à cause de l'augmentation des pluies observées mais également de l'impact des programmes agricoles mis en place par l'Etat sénégalais comme le plan REVA (Retour Vers l'Agriculture) et GOANA (Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance). Toutefois, l'évolution des rendements d'arachides montre une tendance stationnaire avec un seul pic des rendements autour des années 2010 (Fig. 22).

Une tendance globale similaire entre les moyennes saisonnières et les rendements pour toutes les spéculations est observée (Fig. 22). Cependant, il est important de noter l'influence remarquable de la variabilité interannuelle de la pluviométrie sur les rendements, particulièrement les ruptures pluviométriques. Une rupture peut être définie de façon générale par un changement dans la loi de probabilité de la série chronologique à un instant donné, le plus souvent inconnu (Ardoin et al., 2003). Sur la base des séries pluviométriques annuelles, nous avons identifié deux ruptures à Fatick et une à Toubacouta. Bodian et al., (2014) ont identifié des périodes de rupture en 1992, 1997 et 1998 (à l'aide

du test de Pettitt), et en 2002 puis 2007 (à l'aide du test de Lee et Heghinian ; méthode de Hubert) sur l'ensemble du Sénégal. Ces ruptures pluviométriques ont eu des effets sur les rendements des céréales (mil, sorgho) et d'arachides dans la zone de Fatick (Fig. 22). A côté de ces périodes de rupture, l'hivernage de l'année 2003 identifié par les populations comme déficitaire en termes pluviométriques a été à l'origine d'une réduction des rendements agricoles visible sur la figure 22.

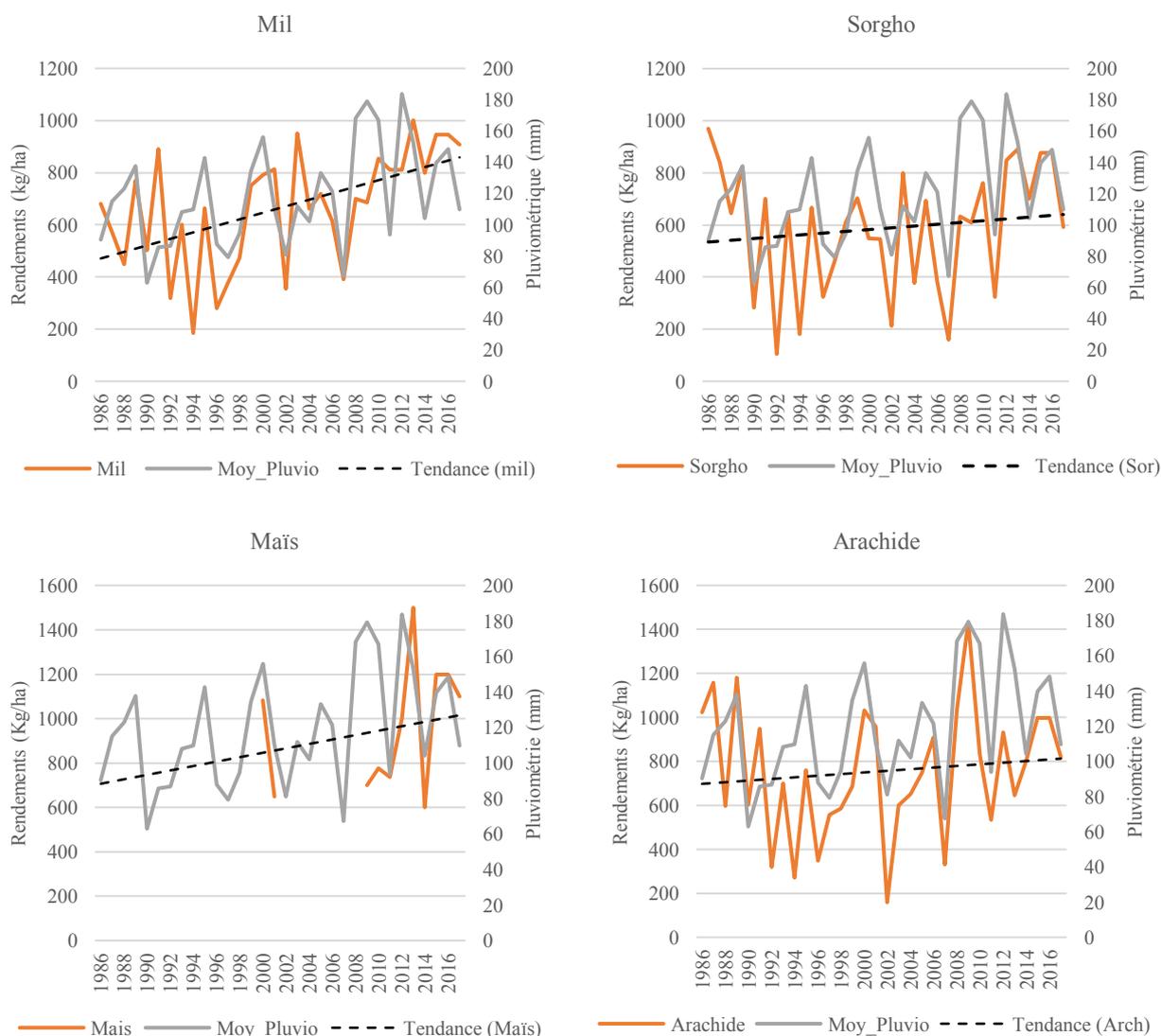


Figure 22 : Rapport entre la moyenne pluviométrique saisonnière de juin-juillet-août-septembre (Station de Fatick) et les rendements agricoles par spéculcation (Source : DRDR Fatick)

4.2.3.1.2 Évaluation des impacts et leur niveau de conséquence

Hausse des températures (HT) : L'augmentation de la température ou l'apparition de vagues de chaleur est visible à travers la tendance à la hausse des températures minimales et maximales montrée par les données d'observation de la station de Fatick (Fig. 12) et leur forte probabilité d'occurrence supérieure à 99%. Cette variation des températures notée surtout pendant la saison pluvieuse a des répercussions importantes sur les cultures pluviales (Alhassane et al., 2013). Parmi les impacts sur les

différentes phases de développement des cultures, celui durant la germination affecte le plus le mil en inhibant les semences et par conséquent bloque la levée. Cette hausse affecte négativement la viabilité des pollens des cultures comme le maïs et l'arachide durant la phase de floraison-reproduction, ce qui réduit considérablement les rendements agricoles. Pour des spéculations comme le sorgho, l'effet des températures élevées (notamment sur les phases de croissance, floraison et maturation) a un effet sur le rendement en grain.

Démarrages tardifs et fins précoces (DTFP) : L'absence de vraies pluies (20mm en un à trois jours consécutifs) durant la période de juin-juillet ou septembre-octobre est souvent à l'origine d'un décalage ou d'un arrêt précoce des activités agricoles. D'après l'analyse des données interannuelles (1950-2010) de la station de Kaolack, une légère tendance au retard de l'installation de la saison et une nette tendance de la précocité des dates de fin (par conséquent un raccourcissement des saisons) sont notées. Des averses intermittentes qualifiées de faux départs sont souvent observées qui sont à l'origine d'un retard dans la germination de certaines cultures comme le maïs, le sorgho et l'arachide qui ont besoin de beaucoup d'eau pour l'imbibition et la levée de dormance des graines (Alhassane et al., 2013). Pour le mil, plus résistant à la sécheresse et souvent semé à sec, quelques averses suffisent pour qu'il germe, mais l'absence de pluie durant les jours qui suivent est à l'origine de stress hydrique important pour les jeunes plants (Dancette, 1980).

Cumul pluviométrique (BCP) : La quantité totale de pluie durant la saison est un facteur important dans le développement et la production des différentes cultures (Dancette, 1980). L'augmentation ou la réduction de cette pluviométrie liées à l'occurrence des événements pluvieux ont un effet sur les différentes phases de croissance jusqu'à la maturation et ainsi sur le rendement des cultures. L'évolution interannuelle des cumuls pluviométriques à Niakhar (Station de Fatick) et Toubacouta (Station de Foundiougne) montre une nette hausse du cumul pluviométrique dans la zone depuis 1976. Cependant il est important de noter que cette forte pluviométrie est majoritairement due aux pluies intenses mal réparties dans le temps et dans l'espace (Panthou et al., 2015).

Pauses pluviométriques (PP) : Les PP observées sur les 30 jours après les semis présentent un risque potentiel de re-semis, c'est l'exemple de l'hivernage de cette année (2017/2018). Cependant les longues PP durant la phase critique de maturité-reproduction des cultures de 90 jours ont un impact significatif sur le rendement final, en particulier dans la zone sahélienne (Alhassane et al., 2013). Chez les céréales et l'arachide, les pauses pluviométriques entraînent un retard de la croissance, et si l'impact arrive en phase de floraison, le remplissage des grains ou des gousses est affecté (Schilling, 2001). Le rendement qui en résulte serait considérablement réduit.

Les différents facteurs climatiques liés à la température ou les précipitations ont des effets directs sur les cultures pluviales et par conséquent sur les rendements agricoles (Sultan et al., 2005). En effet, les impacts notés sur les différents stades de développement des cultures entraînent une réduction de la quantité et de la qualité des productions agricoles (Sarr, 2008). Les impacts en phase de floraison ont plus de conséquences car ils affectent la formation des grains pour les céréales ou le remplissage des gousses pour l'arachide (Hausmann et al., 2007; Schilling, 2001). Le niveau d'exposition durant ce stade est élevé, (2) sur une échelle de 4 pour les céréales et l'arachide (Tableau 9). Les impacts sur les autres phases de développement affectent indirectement le rendement en réduisant la croissance et les capacités de production des cultures. Parmi les quatre cultures majeures qui caractérisent l'agriculture dans la zone de Fatick, l'arachide est la plus exposée aux risques climatiques (IE = 9/16) et

notamment au démarrage tardif et aux pauses pluviométriques. Les céréales sont plus résistantes à la sécheresse et moins exposées aux aléas climatiques (IE=8/16), particulièrement le mil (IE=7/16). L'évaluation globale de l'impact des stimuli climatiques sur l'agriculture donne un indice d'exposition de 33/64, soit un impact global moyen à élevé.

Tableau 9 : Matrice des impacts (Facteurs climatiques et variables impactés)

Stimulus climatique	Impacts biophysiques			
	Mil	Maïs	Sorgho	Arachide
Hausse des températures	Inhibe les semences (phase de germination) (T° élevées) (2)	Détruit le pollen et réduit les rendements (Phase de floraison) (2)	Retard de la croissance et diminution du rendement en grains (2)	Impacte la phase de floraison et réduit les rendements (2)
Faux départs & fins précoces	Retard de germination , croissance réduite (2)	Retard de germination , croissance réduite (2)	Retard de germination , croissance réduite (2)	Mauvaise imbibition des graines et retard de germination (2)
Cumul pluviométrique	Effet sur les phases de croissance et sur le rendement en grain (1)	Effet sur les phases de croissance et sur le rendement en grain (2)	Effet sur les phases de croissance et sur le rendement en grain (1)	Effet sur les phases de croissance et sur le rendement en grain (2)
Pause pluviométrique	Impacte la germination , le tallage , la floraison et le remplissage des grains (3)	Impacte la phase de reproduction , baisse des rendements (2)	Retard de croissance , mauvais remplissage des grains (3)	Mauvais remplissage des gousses si impact en floraison -formation des gousses (3)
Indicateur d'exposition	7/16	8/16	8/16	9/16

Légende : X : Absence d'impacts ; 1 = Faible, 2 = Moyen, 3 = Elevé, 4 = Sévère

Ces effets négatifs des stimuli climatiques sur l'agriculture ont des répercussions importantes au niveau socio-économique. En effet, ils sont à l'origine d'une baisse de la production donc d'une insécurité alimentaire, et de la réduction des revenus pour les agriculteurs. Au niveau des ménages, cela se remarque avec près de la moitié de l'effectif enquêté qui n'a plus assez de rendements de mil pour couvrir leurs besoins alimentaires après la saison. La rareté de certains produits agricoles comme le mil sur le marché local durant certaines périodes de l'année entraîne une hausse des prix. Ainsi, l'agriculture pluviale qui était la première source de revenus des ménages est aujourd'hui négligée par certains acteurs au détriment d'autres activités comme le commerce. Ceci explique également le manque de motivation des jeunes pour pratiquer l'agriculture, préférant s'adonner à d'autres activités comme le transport à Niakhar ou le tourisme à Toubacouta.

Mis à part les facteurs climatiques notés ci-dessus, d'autres facteurs non climatiques comme la disponibilité de terres cultivables, la baisse de la fertilité des sols, la salinisation des terres sont autant d'autres facteurs aggravant la vulnérabilité du secteur agricole dans la zone de Fatick. En effet, la pauvreté des sols due à différents facteurs physiques comme les vents, le lessivage, les pratiques agricoles inadaptées, ainsi que la salinisation responsable d'une perte considérable de terres cultivables notamment dans la zone de Niakhar réduisent considérablement les performances du secteur agricole. De plus, certaines conséquences des aléas climatiques comme les inondations sont aussi à l'origine de pertes de productions importantes chez les paysans. Les fortes pluies notées souvent en fin d'hivernage causent des dégâts pour les variétés précoces d'arachide (la variété Fleur 11) en provoquant des germinations sur pied mais occasionnent également des dégâts post-récolte comme le pourrissement de la paille d'arachide et des difficultés de conservation des récoltes de mil.

4.2.4 Évaluation de la capacité d'adaptation

L'un des facteurs les plus importants qui détermine la capacité d'adaptation des personnes, des ménages et des communautés est leur accès et leur contrôle des ressources (GIZ, 2014). Dans le cas du secteur de l'agriculture qui constitue la principale activité des ménages dans la zone de Fatick, les ressources ou moyens d'existence qui permettent aux populations de s'adapter sont répartis en cinq indicateurs : Naturel ou Physique, Humain, Social, Economique et Institutionnel.

4.2.4.1 Analyse des moyens d'existence

Selon le GIEC 2007, la capacité d'adaptation est définie comme « La capacité d'un système humain ou naturel à s'adapter au changement climatique (y compris la variabilité climatique et les phénomènes extrêmes) pour atténuer les dégâts potentiels, profiter des opportunités, ou faire face aux conséquences. L'appréciation de cette capacité d'adaptation passe par l'analyse des moyens d'existence ». Dans les deux sites de Niakhar et Toubacouta, l'appréciation des moyens d'existence des populations est effectuée à travers le score attribué aux différents indicateurs (Annexe 1&2). Parmi les cinq indicateurs caractérisant les moyens d'existence des populations, les indicateurs physique et économique permettent de mieux apprécier la différence entre les deux sites. Les conditions physiques du milieu à Niakhar (caractérisées par une pauvreté accrue des sols, un climat sahélien sec et une pluviométrie déficitaire) affectent beaucoup l'agriculture. Au niveau agricole, plus de 50% des ménages à Niakhar et 33% à Toubacouta (Fig. 23), dépendent exclusivement de l'agriculture, et principalement des productions de mil (36%), d'arachide (35%) et de sorgho (11%) (Fig. 11).

A côté de l'agriculture, les ménages diversifient leurs activités économiques génératrices de revenu comme le commerce de bétail, de produits agricoles, (20% à Niakhar et 12% à Toubacouta), mais également le petit commerce de table des femmes très développé à Niakhar (10%), et les aides familiales (17%). A Toubacouta, en plus du maraîchage pratiqué par 15% de l'effectif enquêté (généralement les femmes), le travail saisonnier comme agent d'hôtel, journalier ou pêcheur est très développé (10%). Le secteur touristique bien développé offre beaucoup d'opportunités d'emplois avec deux grands hôtels (*Palétuvier*, construit en 1969 et *Keur Saloum*, en 1974) et plusieurs campements touristiques.

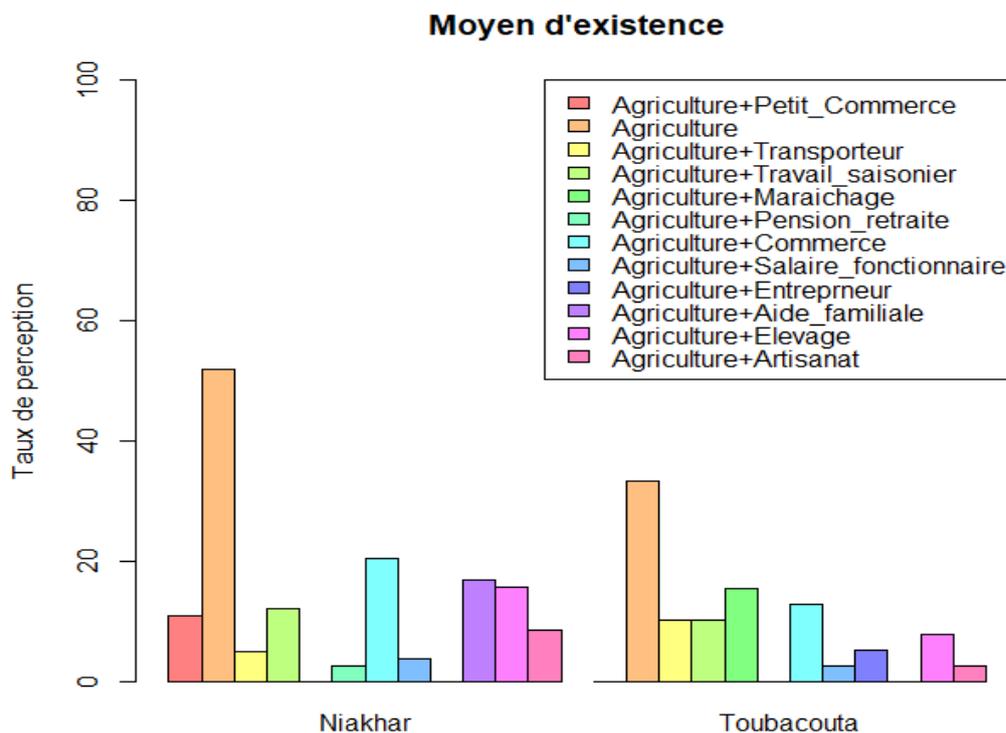


Figure 23 : Origine des moyens d'existence à Niakhar et Toubacouta

4.2.4.2 Stratégies d'adaptation mises en œuvre au niveau local

4.2.4.2.1 Adaptation technique

Au niveau des deux sites de l'étude, les populations développent un certain nombre de techniques pour pallier aux contraintes liées à l'agriculture. En effet, à part l'assolement pratiqué par un 96% des agriculteurs à Niakhar et 94% à Toubacouta pour réduire les effets de la dégradation des terres et la baisse de la fertilité des sols, les agriculteurs font également des apports importants de fumure organique et minérale. Ces apports se font selon les indications des services techniques comme les agents de l'ANCAR qui préconise un apport de 150 kg/ha : 15/15/15 NPK et 50 kg d'urée en deux apports par ha pour le mil (Pers.Com Agent ANCAR). Mais le manque de moyens et l'indisponibilité des intrants au moment souhaité poussent les agriculteurs à ne pas respecter la dose. Dans le cadre de ses activités d'accompagnement des agriculteurs, l'Association Jam Bugum de Niakhar soutient les agriculteurs en intrants avec un système d'apport en produits agricoles comme le mil (225 kg) contre intrants (1 sac d'engrais et d'urée). A défaut d'avoir les intrants chimiques pour lutter contre la baisse de la fertilité des sols, certains agriculteurs conscients du rôle des arbres en association avec les cultures maintiennent souvent les arbustes dans les parcelles agricoles (ex : *Guiera senegalensis*). Ce rôle de l'arbre dans l'agrosystème est connu des agriculteurs qui appellent à la préservation de la végétation ligneuse restant très menacée par les coupes abusives. Pour remédier à ce problème, une gestion communautaire des ressources naturelles avec l'appui des services techniques comme les agents des eaux et forêts et le Conseiller agricole a été mis en place à Niakhar avec des conventions locales pour régulariser les coupes.

Pour remédier aux problèmes phytosanitaires (la rosette chez l'arachide, l'ergot du mil, le mildiou, les insectes...), des techniques artisanales ou des produits phytosanitaires sont souvent utilisés. Ainsi le

traitement à l'insecticide des stocks, fongicide et/ou des engrais minéraux pour les semences sont utilisés pour éviter les dégâts. Pour lutter contre les mauvaises herbes comme le *Striga hermonthica* qui a tendance à sortir en fin d'hivernage, les agriculteurs utilisent des techniques comme l'apport important de fumure, l'arrachage manuel ou le labour de fin de cycle.

A cause de l'évolution climatique de la zone, certaines variétés de cultures autrefois cultivées par les populations sont aujourd'hui abandonnées ou ne sont plus cultivées avec la même ampleur. Certains paysans, pour garder les semences de variétés à long cycle comme le mil Sanio, intercalent des lignes de Sanio dans les champs d'arachide (Ex : une ligne de mil Sanio après cinq lignes d'arachide). Des variétés paysannes anciennes comme le « Thiop » très prisé pour la consommation, le « Law » connu pour sa forte production en fourrage ou « Essaïement », variété introduite dans les années 80, sont aujourd'hui laissées au détriment des variétés à cycle court comme la variété Fleur 11 (90 jours), la 73-33 (110 jours) qui s'adaptent plus aux conditions climatiques actuelles mais aussi aux pratiques agricoles avec la mécanisation.

Pour lutter contre les coupes abusives du bois et permettre une gestion durable de l'environnement et des ressources naturelles, une sensibilisation au niveau communautaire est souvent effectuée avec les conventions locales entre villages à Niakhar. Ainsi les coupes ne sont pas autorisées durant la période de fermeture du bois fixée entre les mois de janvier et mai.

4.2.4.2.2 Mesures institutionnelles

L'Etat, à travers les services déconcentrés, soutient les agriculteurs notamment en intrants agricoles comme l'engrais et les semences. Il facilite également l'écoulement des produits agricoles après la récolte en achetant les productions auprès des agriculteurs. Les services locaux impliqués appuient l'adaptation dans le secteur agricole notamment dans la récupération des terres salées. Le Projet Gestion Durable des Terres (GDT) mis en œuvre par le Ministère de l'Agriculture à travers l'ANCAR, l'Association Sénégalaise pour la Promotion du Développement par la Base (ASPRODEB), l'Institut National de Pédologie et l'ISRA entre 2010-2012 dans 8 communautés rurales du Bassin arachidier dont Niakhar a promu diverses technologies de lutte antiérosives (telles que les cordons pierreux, demi-lunes, haies vives, gabions, reboisement, RNA, etc.) ainsi que des activités de fertilisation et de lutte contre la salinité des sols. Globalement ce projet a permis de mettre environ 20 000 ha de terres sous gestion durable (MAER, 2012). Au niveau de la recherche variétale, l'ISRA est un acteur clé dans ce volet de l'adaptation ; entre 2007 et 2011, on peut mettre à son actif une riche sélection variétale avec l'homologation, de 6 variétés d'arachide à cycle court (75 – 80 j) en 2010, 4 variétés de sorgho (105 à 110 j) et une variété de mil (95 jours), en 2011 (CDN, 2016).

La maîtrise de l'eau et la promotion de l'irrigation constituent également des options transversales et de nombreuses initiatives en matière d'ouvrages de retenues d'eau pour améliorer l'agriculture ont été réalisées. Selon la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés (2012), plus de 300 ouvrages de 30 000 à 500 000 m³ auraient été réalisés, par différents programmes et projets, sous la supervision de la Direction du Génie Rural. Parmi ces programmes intervenant dans la zone de Fatick:

- Le Projet d'Appui à la Petite Irrigation Locale (PAPIL) a permis la récupération de plus de 2 000 ha de terres salées, la sécurisation de 6 000 ha de terres menacées par le sel dans la région de Fatick et l'augmentation du potentiel de terres cultivables de 6 000 ha (DBRLA, 2013).
- Le Projet d'Appui aux Filières Agricoles (PAFA) qui cherche à promouvoir la collecte des eaux de pluies, une meilleure gestion des bassins versants et une plus grande efficacité de

l'irrigation en partenariat avec la Direction des Bassins de Rétention et des Lacs Artificiels (DBRLA) et l'INP.

Dans le cadre de la restauration et l'amélioration de la fertilité des sols, le Projet de Gestion et de restauration des terres dégradées (PROGERT) financé par l'Etat, le FEM et le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), intervient dans la zone du bassin arachidier pour promouvoir les stratégies d'adaptation comme la technique du zaï, le compostage, les fosses fumières, l'agroforesterie et la régénération naturelle assistée (RNA).

Dans le cadre de la diffusion de l'information climatique, des efforts importants ont été faite par l'ANACIM pour rendre disponible l'information climatique grâce à une combinaison de plusieurs canaux de diffusion très accessibles aux populations rurales.

4.2.4.3 *Les limites dans la mise en œuvre des stratégies d'adaptation*

Malgré ces stratégies mises en place, le secteur agricole vit toujours un problème structurel lié aux aléas climatiques, à l'insuffisance et le retard des intrants, à la vétusté des équipements agricoles (même si des efforts importants ont été faits par les autorités) et à la dégradation des sols. A cause de la baisse de la fertilité des sols, les agriculteurs sont obligés d'avoir recours à l'engrais minéral dont l'accès en quantité suffisante n'est jamais garanti compte tenu de nombreuses contraintes d'ordre financier et organisationnel. Certains agriculteurs ont trouvé une alternative en permettant aux éleveurs nomades du Ferlo de s'installer sur leurs champs pendant la saison sèche.

Le retard de la distribution des semences n'est pas nouveau, en plus de la difficulté de vendre la production après la récolte. Cela impacte inéluctablement sur le calendrier saisonnier. Ce qui fait que même si la pluie se met en place à temps, s'il manque les semences et le matériel agricole, il ne saurait y avoir une bonne production. Le défaut d'aménagement de pistes de production pour acheminer à temps les semences et les productions est une contrainte majeure après la récolte. La réduction des terres cultivables à cause de l'extension des zones habitables est également une menace qui pèse sur le secteur agricole, et avec la forte démographie dans certaines communes comme Niakhar, les terres environnantes seront toutes occupées d'ici quelques années.

L'adoption des variétés de semences améliorées reste également un défi de taille. Les croyances et les représentations sont appelées à évoluer pour permettre l'acclimatation des innovations techniques. C'est dans ce cadre-là que les structures dédiées comme l'ISRA doivent renforcer la communication avec le monde paysan pour une meilleure adoption des variétés nouvelles homologuées.

Un manque de synergie notoire entre les programmes et les projets agricoles existe dans la zone, par conséquent un double travail dans les mêmes villages est souvent noté tandis que d'autres ne bénéficient d'aucun soutien. Dans la zone de Toubacouta la culture du riz est bien développée mais le manque d'infrastructure et l'aménagement des bas-fonds freinent souvent le développement de cette culture même si l'ANCAR bien présent dans la zone effectue un travail remarquable dans ce secteur.

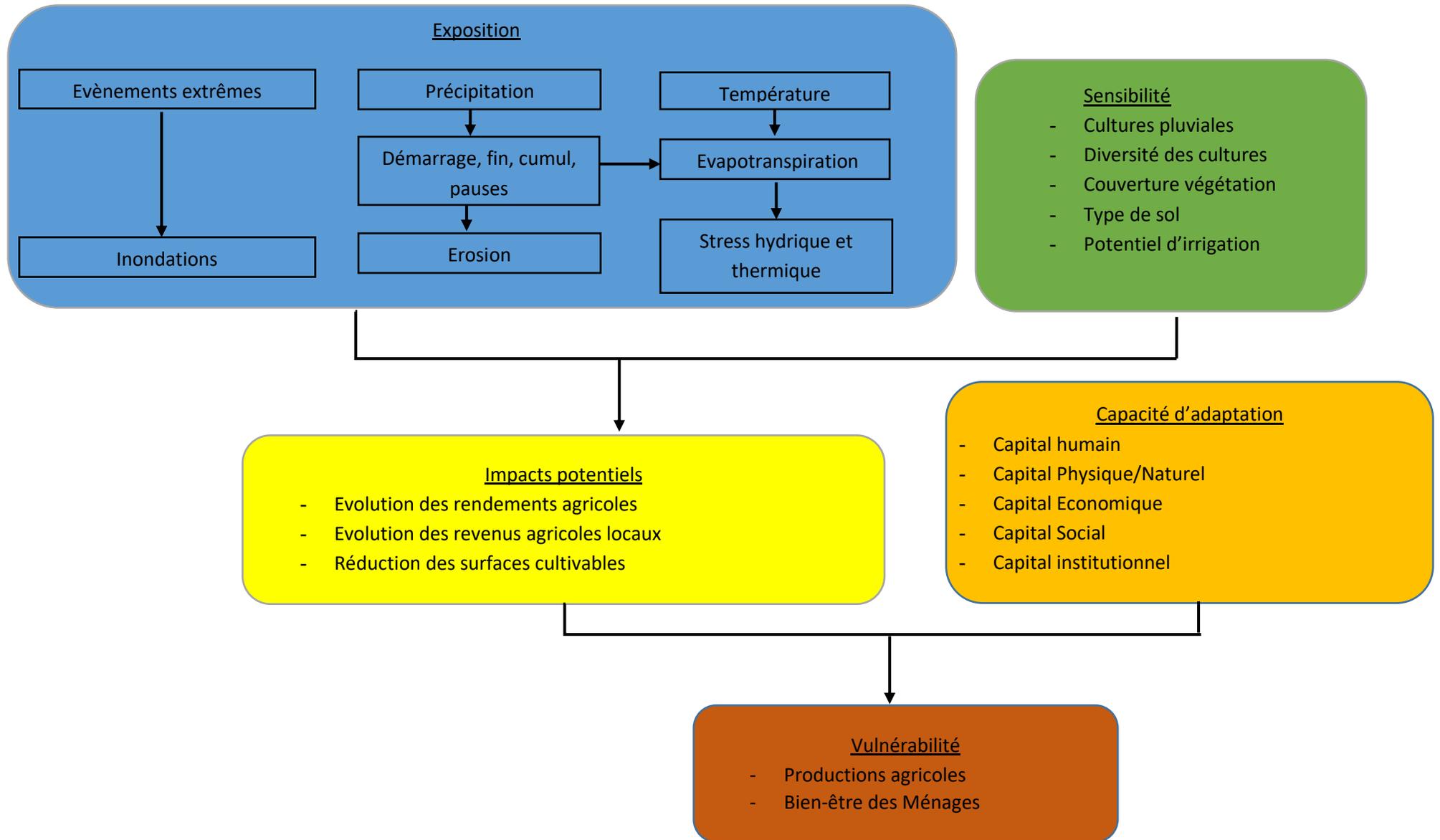
4.2.5 *Priorisation des vulnérabilités*

La pluviométrie et la température qui sont parmi les facteurs climatiques déterminants pour l'agriculture connaissent une évolution depuis quelques décennies. L'évolution interannuelle montre une hausse des précipitations annuelles malgré la fréquence des pauses pluviométriques et le démarrage tardif des saisons, mais également une augmentation des températures maximales et

minimales dans la zone de Fatick. En réponse à ces facteurs climatiques mais également à d'autres facteurs d'ordre non climatique comme la baisse de la fertilité des sols, la salinisation des terres, l'accès aux intrants agricoles et la commercialisation des produits agricoles, une hausse des rendements est notée d'après les statistiques régionales pour les céréales (Mil, Maïs et Sorgho) mais également pour l'arachide.

Cette perception n'est pas la même que celle des populations qui décrivent plutôt une réduction de la pluviométrie et des rendements agricoles en général. La plupart des ménages enquêtés n'a plus assez de récoltes pour subvenir aux besoins primaires, particulièrement pour le mil qui est l'aliment de base dans la zone, ou l'arachide qui est la culture de rente la plus développée. A défaut de moyens financiers pour relancer l'agriculture, ces populations ont recours à d'autres activités parallèles comme le commerce, l'élevage, le transport etc.

Pour une meilleure prise en charge de ces préoccupations notamment leur sécurité alimentaire il est important d'adapter les cultures au contexte actuel à travers une meilleure connaissance de leurs réponses aux aléas climatiques actuels et futurs. En effet, dans le contexte climatique de la région, le mil plus résistant à la sécheresse ou aux pauses pluviométriques est plus adapté que les autres céréales comme le sorgho et le maïs qui ont une forte demande hydrique. L'arachide, dont le semis dépend impérativement de la pluviométrie, est plus exposé au démarrage tardif de la saison et aux pauses pluviométriques. La réponse physiologique de ces différentes cultures aux aléas climatiques futurs est indispensable pour une adaptation raisonnée et une amélioration des itinéraires techniques.



Chaine d'impacts de la vulnérabilité actuelle du secteur agricole pour la région de Fatick (Projet PAS-PNA, 2018)

5 Évaluation de la vulnérabilité future

Au Sénégal, les scénarii de changements climatiques montrent une hausse de la température et une tendance à la baisse des précipitations (Bodian, 2014). L'agriculture, sera probablement affectée par ces bouleversements climatiques, avec une probabilité de baisse des rendements des variétés cultivées actuellement. La quantification des impacts agronomiques du changement climatique nécessite la mise en place d'une méthodologie souvent complexe avec des outils tirés de l'économie (scénarios d'émission, modèles de décision des ménages agricoles), de la science du climat (modèles et projections climatiques), de l'agronomie (modèles agronomiques) et de la statistique (régionalisation et correction de biais), ayant chacun leur part d'erreur et leurs limites. Malgré ces incertitudes, une baisse plausible de la productivité des céréales dans le futur sous l'effet du réchauffement climatique est obtenue. Cette baisse des rendements est particulièrement marquée sur l'Afrique de l'Ouest en particulier le Sénégal, où se combinent les effets d'une baisse des pluies et d'une hausse des températures à l'horizon 2050 (Deme et al., 2015; Oettli et al., 2011; Sultan, 2015).

En effet, l'évolution interannuelle des rendements est l'un des facteurs clés permettant d'apprécier l'impact des changements climatiques sur le secteur agricole. Ces rendements constituent le résultat des différentes phases de croissance notamment l'évolution de la biomasse, tant aérienne (feuilles, grains, fruits) que souterraine (racines, bulbes, tubercules) des plantes cultivées. Ainsi, pour évaluer cet impact des stimuli climatiques sur les cultures il est important de reconstituer les réponses physiologiques des plantes lors des différentes phases de développement. Cette reconstitution est faite grâce aux modèles bioclimatiques qui sont des représentations mathématiques et graphiques des relations qui caractérisent le développement des organismes vivants dépendant du climat (Boote et al., 1996). Il existe deux types de modèles pour prédire la croissance ou le rendement des cultures : les modèles empiriques et les simulateurs de croissance et de rendement (Baier, 1973). Les modèles empiriques fondés sur des observations réellement mesurées fournissent une prédiction des rendements pour une région ou un site donné, alors que les simulateurs de croissance plutôt orientés vers la compréhension des processus physiologiques (consommation d'eau ou d'azote au cours du cycle, etc.) fournissent une estimation du rendement à la récolte. Les modèles basés sur les processus utilisent des fonctions simplifiées pour exprimer les interactions entre la croissance des cultures et les facteurs environnementaux majeurs affectant les cultures (p. ex. le climat, les sols et la gestion) et nombre d'entre eux ont été utilisés dans les évaluations de l'impact du climat. Les modèles dynamiques de croissance des cultures ICASA/IBSNAT (Consortium International pour l'application des systèmes agricoles – Réseau international des sites de référence pour le transfert de l'agrotechnologie) sont structurés comme un système d'aide à la décision pour faciliter les simulations des réponses des cultures à la gestion (DSSAT) (Jones et al., 2003).

L'utilisation de ces modèles en Afrique de l'Ouest en particulier au Sénégal montre un impact global négatif futur des variations climatique sur le rendement des cultures (Adiku et al., 2014; Deryng, 2015; Oettli et al., 2011; Roudier et al., 2011; Sultan et al., 2014). Ces impacts négatifs sur les rendements auront probablement des répercussions sur les revenus des populations et entraînent une vulnérabilité des ménages agricoles. Différentes approches ont été utilisées pour évaluer les impacts socio-économiques des changements climatiques : exemple Droogers et al., (2004), s'appuient sur le modèle SWAP (Soil–Water–Atmosphere–Plant), Popova and Kercheva, (2005) utilisent le modèle

CERES (Crop Environment Resource Synthesis), Aggarwal et al., (2006) se basent sur le modèle InFoCrop et Jalloh et al., (2013) utilisent Modèles de Circulation Générale (MCG). Au Sénégal, dans le cadre du ESCAPE (Poeydebat et al., 2013) analysent, principalement à Niakhar et à Nioro, la vulnérabilité des agriculteurs à la variabilité et aux changements climatiques grâce à un modèle bioéconomique qui regroupe un modèle agronomique CELCIUS et un modèle économique à l'échelle d'exploitation.

Par ailleurs, Diop et al., (2015), se basent sur un modèle de simulation Threshold-21 (T-21) pour mettre en évidence, pour le cas du Sénégal, la relation entre le niveau de la croissance économique et celui des émissions de CO₂ et évaluer la contribution des investissements dans les énergies renouvelables afin de garantir la stabilité du système socio-économique et environnemental. Cabral, (2012, 2011) évalue, à l'aide d'un modèle d'équilibre général calculable (MEGC) dynamique l'impact des chocs pluviométriques sur la pauvreté au Sénégal en faisant un lien entre la pluviométrie et la valeur ajoutée du secteur agricole. La pertinence d'évaluer l'impact des changements climatiques à travers la pluviométrie, réside dans le fait qu'au Sénégal, l'agriculture est essentiellement pluviale.

Pour étudier la réponse des cultures par rapport au climat futur, nous avons effectué un couplage de modèles climatiques et de modèles agronomiques. Les impacts socio-économiques liés à ces changements climatiques futurs ont été évalué à l'aide du MEGC qui fait un lien entre un indice pluviométrique intégré et la valeur ajoutée du secteur agricole.

5.1 Matériels et méthodes

5.1.1 Exposition future

L'étude sur l'exposition future a été faite à partir des données des modèles climatiques globaux CMIP5. Ce sont des données corrigées et désagrégées sur une grille horizontale de 0.5° (c'est à dire 50kmx50km). Nous avons utilisé au total 24 simulations des modèles globaux (voir Tableau 1 rapport climatologie) qui contiennent chacune sept (7) variables climatiques corrigées (précipitations, température moyenne de surface, température maximale et minimale, rayonnement solaire, humidité relative et vent de surface).

L'exposition future de la zone d'étude a été faite en se basant sur les indicateurs climatiques que sont :

- le cumul pluviométrique saisonnier
- l'Indice de Pluies Standardisé (IPS)
- le début, la fin et la longueur de la saison des pluies : le début et la fin de la saison ont été calculés selon la méthode de Sivakumar, (1988). Pour plus d'informations sur cette méthode se référer au rapport sur la climatologie.
- les précipitations extrêmes
- les températures maximales et minimales.

L'analyse de l'exposition future s'appuie sur les évolutions temporelles d'anomalies des indicateurs climatiques cités ci-dessus en utilisant des scénarios de changements climatiques des 24 simulations. Deux scénarios (RCP4.5 et RCP8.5) parmi les 4 du 5ème rapport du GIEC (2013) décrites par Moss et al., (2010) ont été utilisés pour caractériser le changement futur par rapport à la période historique de référence (1976-2005). Tous les changements potentiels des différents indicateurs ont été calculés par rapport à cette période de référence.

5.1.2 Sensibilité

Dans le cadre de l'évaluation de la vulnérabilité future du secteur agricole dans la région de Fatick, une étude de l'évolution des rendements a été effectuée avec les modèles de simulation de la croissance des cultures SARRA-H (Système d'Analyse Régionale des Risques Agro-climatiques-H) développé par le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) et DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Jones et al., 2003). Une partie des données agricoles et climatiques utilisées dans le cadre de cette modélisation a été obtenue à travers les partenaires du projet PAS-PNA notamment l'ISRA et le programme AMMA2050³ (Plus de détail sur Annexe 8).

5.2 Analyse des impacts socio-économiques

L'analyse de la vulnérabilité socio-économique aux chocs pluviométriques pour le secteur agricole a été effectuée à l'aide du MEGC dynamique PEP-1-t de Decaluwe et al., (2013). La matrice de comptabilité sociale (MCS), représentant les flux comptables d'une économie donnée à une période donnée du Sénégal (2011) a été utilisée (Plus de détail sur Annexe 8).

5.3 Résultats

5.3.1 Exposition future

5.3.1.1 Indices climatiques liés aux précipitations

L'analyse des indices des précipitations au niveau de la région de Fatick montre que quelques soient l'horizon et le scénario, le cumul pluviométrique et la longueur de la saison pourraient diminuer (Tableau 1). Ces résultats sont en accord avec ceux de Deme et al., (2015). Cette diminution est plus importante à l'horizon 2050 et pour le scénario RCP 8.5, sauf pour la longueur de la saison à l'horizon 2035 ou le scénario RCP4.5 prévoit une baisse un peu plus importante que celle de RCP8.5.

Le cumul pluviométrique connaîtra une diminution plus importante pour le scénario RCP 8.5 que le RCP 4.5. A l'horizon 2050 la diminution sera plus importante pour le RCP 8.5 avec une valeur d'environ 24.21 mm par rapport au cumul pluviométrique de la saison de référence.

Pour le début de la saison des pluies, les scénarios prévoient des démarrages de plus en plus tardifs. A l'horizon 2035 les deux scénarios prévoient un changement presque identique alors qu'à l'horizon 2050 le RCP 8.5 projette un changement un peu plus important. A l'horizon 2035, un retard d'environ 4.5 ± 3 jours sera observé alors qu'à l'horizon 2050 ce retard sur le démarrage de la saison pourrait s'accroître pour atteindre au moins $6,5 \pm 3,5$ jours selon le rcp4.5. Ces changements ont été obtenus par au moins 2/3 (soit 66.66%) des modèles donc ils sont au moins probables sauf pour le cumul à l'horizon 2035 avec le scénario RCP4.5.

³ <https://www.amma2050.org>

La longueur de la saison des pluies connaîtra une diminution plus importante pour le scénario RCP 4.5 que le RCP 8.5. A l'horizon 2050 la diminution sera plus importante pour le RCP 8.5 avec une valeur d'environ 13 ± 7 jours par rapport à la longueur de la saison de référence (92 jours).

Indices Climatiques	Scénarios	Horizon 2035 (2006-2035)	Horizon 2050 (2036-2065)
Cumul pluviométrique	Rcp4.5	-9.40 (11)	-14.00 (16)
	Rcp8.5	-21.86 (17)	-24.21 (18)
Début de la saison des pluies	Rcp4.5	4.99 ± 3.34 (22)	6.22 ± 3.61 (20)
	Rcp8.5	4.30 ± 3.56 (20)	8.70 ± 4.99 (21)
Longueur de la saison des pluies	Rcp4.5	-8.33 ± 4.46 (18)	-11.56 ± 7.11 (20)
	Rcp8.5	-6.10 ± 5.18 (15)	-14.99 ± 7.77 (18)

Tableau 10: Changement absolu moyen du cumul pluviométrique, du début et de la longueur de la saison des pluies pour les horizons 2035 et 2050 des deux scénarios (rcp4.5 et rcp8.5). Les valeurs entre parenthèses indiquent le nombre de simulations ayant entraîné le changement

L'évolution de l'indice de pluie standardisé (IPS) (figure 3), montre qu'entre les années 2020 à 2035 les précipitations pourraient être proches de la normale de référence. Par contre les années 2040 pourraient enregistrer des sécheresses modérément sèches. Au-delà de 2045 les projections montrent une recrudescence des événements de sécheresse qui pourraient être extrêmement sèche comme en 1983. Il faut noter aussi la forte variabilité interannuelle de l'IPS qui pourrait entraîner l'apparition d'années très humides à l'intérieur des périodes très à extrêmement sèches.

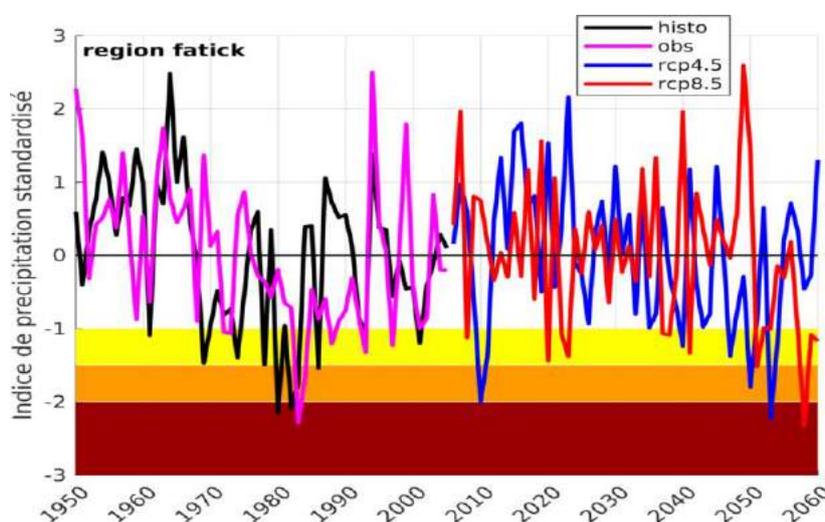


Figure 24 : Évolution de l'indice de pluie standardisé de l'historique (noire), de l'observation (magenta), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge). Les données utilisées sont celles de la moyenne d'ensemble des 24 simulations des modèles cmip5

L'analyse de la variation temporelle, de 1950 à 2060, du Début de la Saison des Pluies (DSP) montre que de 1950 à 1995 le début de la saison était en avance par rapport au début de la période de référence sauf en 1983. Les projections montrent une forte variabilité plus marquée sur le scénario rcp4.5 (figure 4, courbe bleue) dans les trente (30) premières années de projection (2006-2035). Le reste de l'année la variabilité est plus importante avec le scénario rcp8.5 (figure 9 courbe rouge) avec

un retard qui s'accroît entre 2035-2048 puis diminue jusqu'en 2060. Pour ce qui est de la LSP nous notons une forte variabilité dans les projections de 2006 à 2060 avec les deux scénarios (figure 4 courbes bleue et rouge). Cette variabilité est plus forte que celle observée sur le démarrage de l'historique. Ceci montre l'existence d'une forte variabilité sur la fin de la saison.

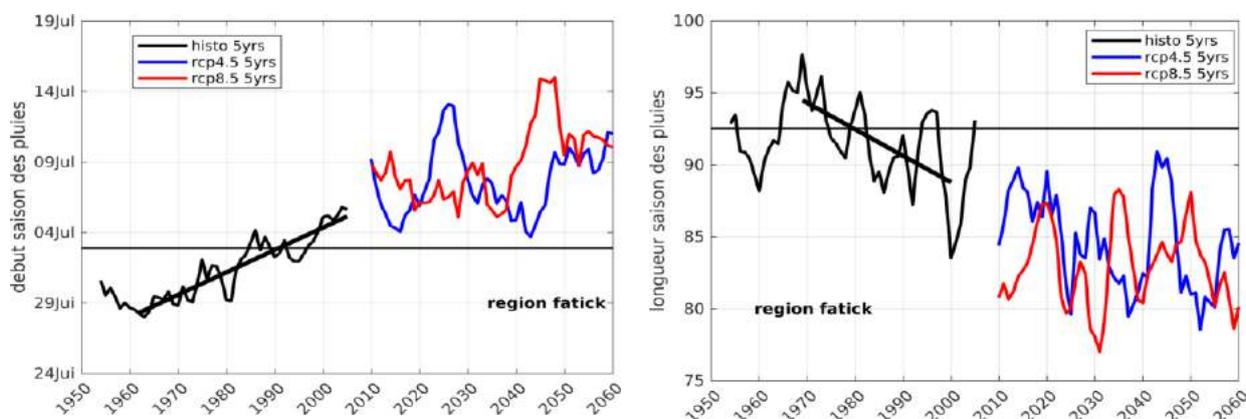


Figure 25: Evolution de la moyenne mobile sur 5 ans du début de la saison des pluies et de la longueur de la saison des pluies de l'historique (noire), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge). Le trait noir oblique montre la tendance de l'historique. Les données utilisées sont celles de la moyenne d'ensemble des 24 simulations des modèles cmip5 du tableau 1.

5.3.1.2 Les températures maximales et minimales

Aux horizons 2035 et 2050 les températures maximales et minimales pourraient connaître, quel que soit le scénario, une augmentation par rapport aux valeurs de la période de référence (1976-2005). L'augmentation est plus forte pour les températures minimales que maximales (tableau 2). Ce résultat est conforme avec celui de la Contribution Prévue Déterminée au niveau National (CPDN, 2015). A l'horizon 2035 la différence de changement entre les scénarios rcp4.5 et rcp8.5 est très faible (de l'ordre de 0.07°C). A l'horizon 2050 le changement induit avec le scénario rcp8.5 est plus important que celui de rcp4.5 de l'ordre de 0.5°C.

Indices Climatiques	Scénarios	Horizon 2035 (2006-2035)	Horizon 2050 (2036-2065)
Températures maximales	Rcp4.5	0.61±0.06	1.26±0.14
	Rcp8.5	0.69±0.08	1.78±0.17
Températures minimales	Rcp4.5	0.71±0.06	1.46±0.12
	Rcp8.5	0.77±0.08	1.99±0.16

Tableau 11: Changement absolu moyen des températures maximales et minimales pour les horizons 2035 et 2050 des deux scénarios (rcp4.5 et rcp8.5). Toutes les simulations montrent une augmentation.

L'analyse de l'évolution des températures maximales et minimales de 1950 à 2060 (figure 5) montre que de 1950 à environ 1997 les températures maximales et minimale sont inférieures à leurs valeurs de référence (figure 5). Les hausses, par rapport à la période de référence, commencent à partir de 1998. Jusqu'en 2035 les deux scénarios (figure 5, courbes bleue et rouge) sont proches entre eux d'où la faible différence obtenue dans le tableau 4 à l'horizon 2035.

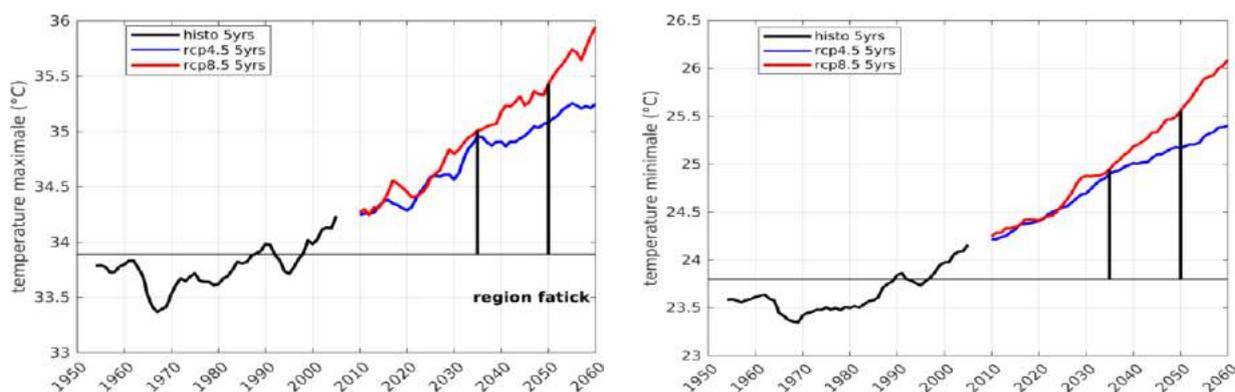


Figure 26: Évolution de la moyenne mobile sur 5ans de la température maximale de l'historique (noire), du scénario rcp4.5 (bleue) et du scénario rcp8.5 (rouge). Le trait noir fin horizontal donne la valeur de la température maximale de la période de référence. Les données utilisées sont celles de la moyenne d'ensemble des 24 simulations des modèles.

5.3.2 Sensibilité future

a) Evolution des rendements

La **Figure 28** montre les résultats de l'évolution des rendements moyens en grains simulés des différentes cultures mil, maïs et sorgho entre la période de référence 1976-2005 et les horizons temporels de 2035 et 2050. En réponse aux changements climatiques, une tendance globale à la baisse des rendements moyens serait notée dans les deux sites de Niakhar et Toubacouta selon les deux scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5. Cet impact négatif sur le rendement des cultures est globalement conforme aux conclusions précédentes de Jones et Thornton, (2003); Schlenker et Lobell, (2010) sur le maïs, de Sultan et al., (2014) sur le mil et le sorgho. Ces deux dernières cultures pourraient être les céréales les plus affectés à l'horizon 2050. Pour l'arachide une tendance globale à une légère hausse pourrait être noté mais avec une forte réduction vers les années 2025 qui sera suivi d'une hausse à l'horizon 2045.

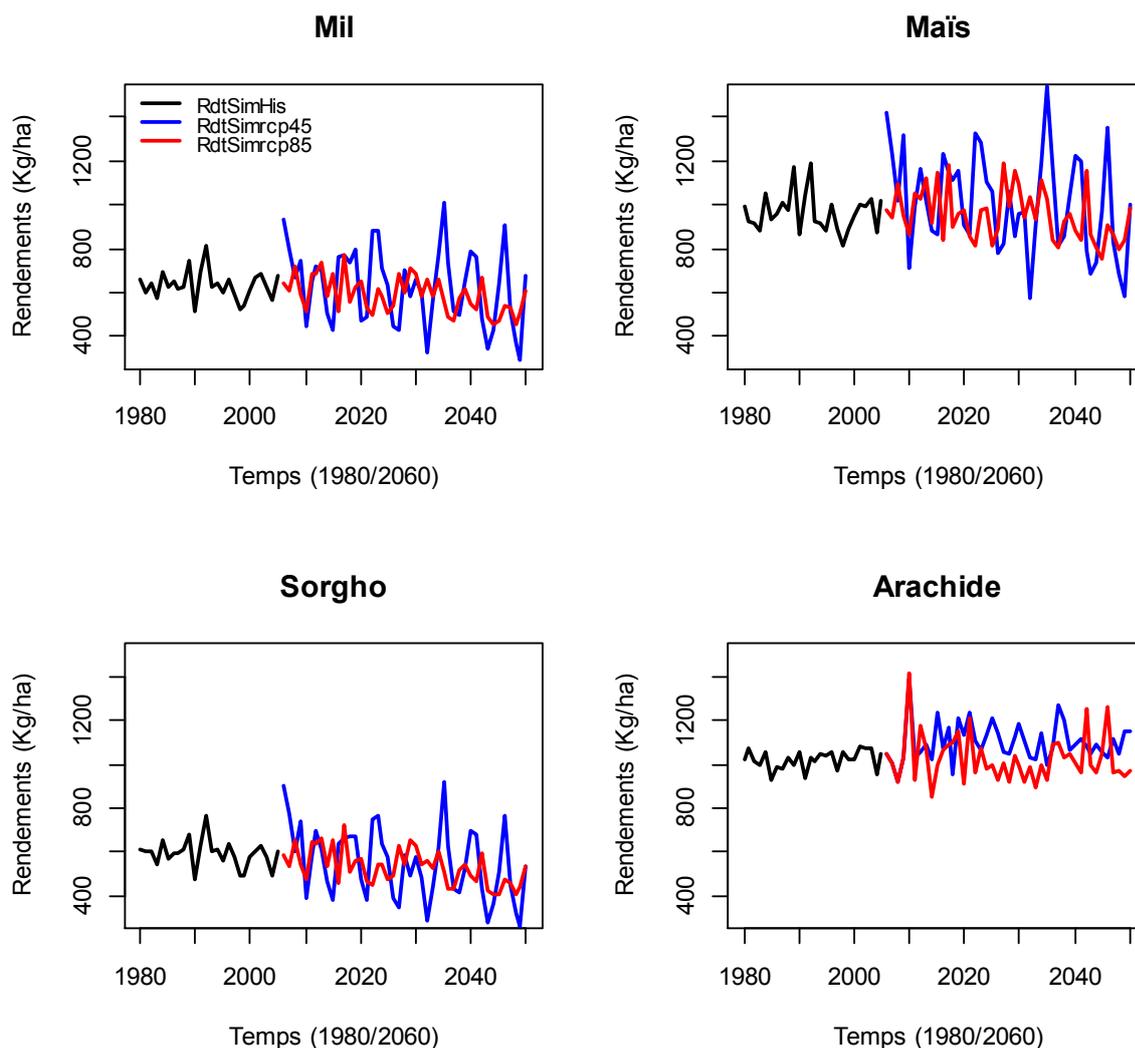


Figure 27: Évolution de la moyenne mobile sur 5 ans des rendements des quatre cultures majeures de la zone. Les différentes courbes représentent les données historiques (noire), le scénario rcp4.5 (bleue) et le scénario rcp8.5 (rouge).

b) Ecart de rendements

Scénario RCP 4.5 :

Les rendements du mil pourraient diminuer respectivement aux horizons 2035 et 2050 de 9% et 19% à Niakhar et de 8% et 19% à Toubacouta respectivement (Fig. 28). Pour le maïs, les pertes de rendement seraient évaluées à 8% et 17% à Niakhar et 7% et 15% à Toubacouta. Le sorgho pourrait connaître le maximum de réduction du rendement avec près de 14% et 27% à Niakhar et 12% et 23% à Toubacouta. Contrairement aux tendances sur les céréales, l'arachide connaîtra une hausse des rendements de 12% vers 2035 suivi d'une diminution jusqu'à 9% à l'horizon 2050 à Niakhar alors qu'à Toubacouta une hausse légère d'environ 4% et 7% sera observée.

Scénario RCP 8.5

Une baisse considérable des rendements sera observée respectivement aux horizons 2035 et 2050 de 23% et 37% à Niakhar et 20% et 36% à Toubacouta pour le mil. Les rendements de maïs seront également affectés avec une perte de 22 et 36% à Niakhar et de 20 et 34% à Toubacouta. Le sorgho sera probablement la céréale la plus affectée avec une perte de rendement de l'ordre de 25% et 42%

à Niakhar et de 23% et 40% à Toubacouta. Le rendement de l'arachide diminuera de 6% et 10% à Niakhar, mais connaîtra une hausse et de 7% et 12% à Toubacouta.

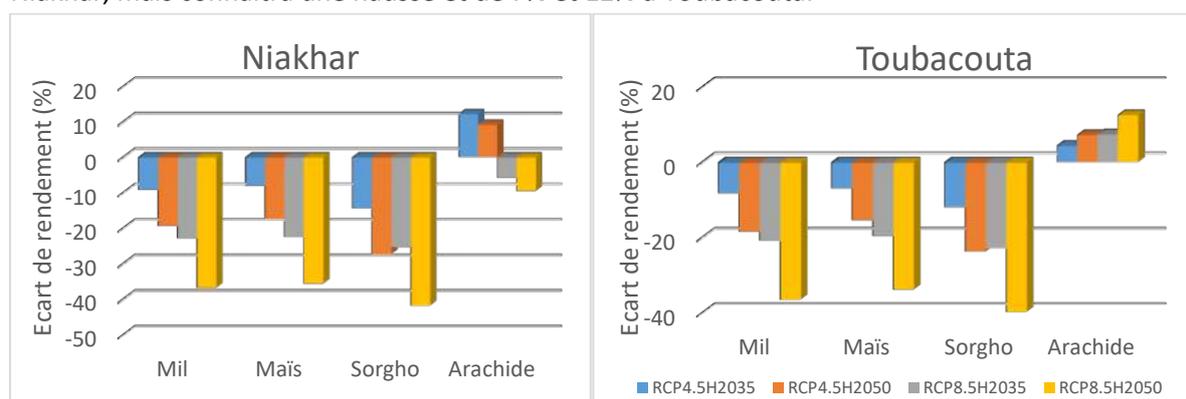


Figure 28 : Écarts de rendement des différentes cultures aux horizons 2035 et 2050, par rapport à la période de référence 1976-2005 pour les céréales et l'arachide

c) Impact du climat sur le cycle des cultures

L'analyse de la corrélation entre les variables climatiques et la longueur du cycle de développement des cultures dans le futur montre un effet significatif de la température sur le cycle pour le mil et le sorgho et non significatif pour le maïs (Annexe 7). Cet impact de la température engendre souvent une réduction du cycle des cultures. Suivant le scénario RCP 4.5 et aux horizons 2035 et 2050, à Niakhar le cycle du mil et du sorgho serait réduit de quatre (4) et sept (7) jours, alors que pour le maïs une réduction plus faible d'une journée serait attendue. A Toubacouta le cycle du mil serait réduit de trois (3) et neuf (9) jours alors que pour le sorgho le cycle passera de six (6) et neuf (9) jours. Pour le scénario RCP 8.5 le cycle du mil et du sorgho serait réduit de sept (7) et 12 jours alors que le cycle du maïs passera de trois (3) et quatre (4) jours aux horizons 2035 et 2050 respectivement. A Toubacouta les cycles du mil et sorgho serait de 10 et 14 jours alors que le cycle du maïs connaîtra une réduction constante de quatre (4) jours entre 2035 et 2050.

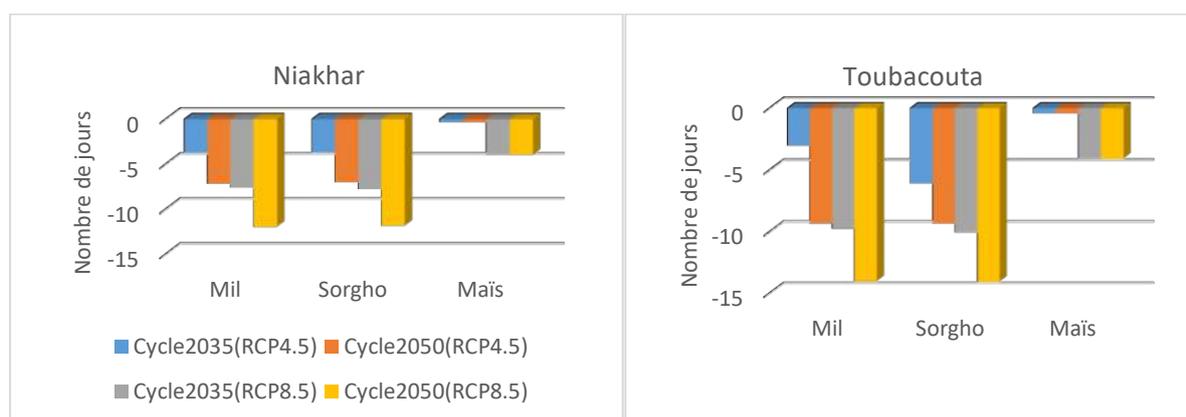


Figure 29 : Evolution du cycle des cultures céréalières dans le futur selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 aux horizons 2030 et 2050

5.3.3 Impacts socio-économiques futurs

L'analyse des données socio-économique avec le MGC montre une augmentation du prix à la consommation des ménages en 2035 et 2050 (Fig. 8) à cause de l'augmentation du prix des produits agricoles. La baisse du taux de salaire dans les secteurs agricoles affecte le revenu du travail et par

conséquent le revenu disponible des ménages du bassin arachidier et des autres ménages ruraux. Les ménages urbains subissent la baisse de leur revenu du travail à cause de la baisse du taux de salaire dans les secteurs non agricoles, leur revenu disponible diminue également par la suite (Fig. 9).

L'impact négatif des changements climatiques engendre une diminution de la croissance économique, entraînant une contraction de l'activité économique et une variation du Produit Intérieur Brut (PIB) respectivement de 0.03% et de 0.01%.

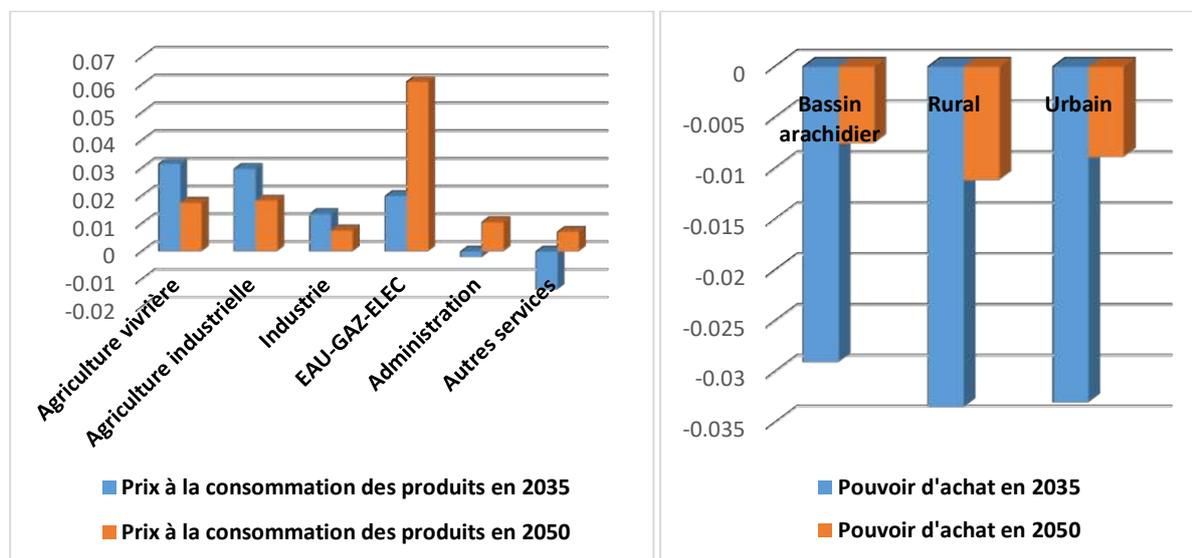


Figure 30 : Variation du prix à la consommation des produits et le pouvoir d'achat des ménages en 2035 et 2050 (en %)

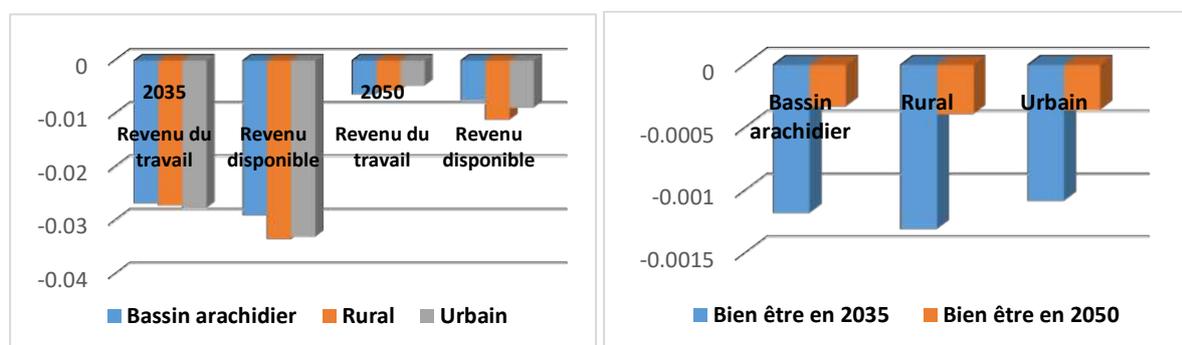


Figure 31 : Variation du revenu du travail, du revenu disponible et du bien-être des ménages en 2035 et 2050 (en %)

5.3.4 Discussion

La température et les précipitations figurent parmi les facteurs déterminant les tendances des rendements agricoles (Roudier et al., 2011). En effet, à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest, l'augmentation passée de la température et la diminution des précipitations ont entraîné une baisse de la production depuis les années 1970 (Barrios et al., 2008). Cependant, si les effets de la variation des précipitations ont dépassé ceux de la température, les projections pourraient être différentes. En effet, nos projections indiquent une augmentation de la température allant de $+1.26 \pm 0.14$ (Tmax) et $+1.46 \pm 0.12$ (Tmin) pour le scénario RCP 4.5 et de $+1.78 \pm 0.17$ (Tmax) et 1.99 ± 0.16 (Tmin) pour le scénario RCP 8.5 à l'horizon 2050, une diminution des précipitations allant de -14% (RCP 4.5) à 24.21% (RCP 8.5). L'ampleur de ces changements serait probablement à l'origine d'un impact négatif du climat futur sur

les céréales quel que soit le site d'étude (Niakhar ou Toubacouta) ou le scénario climatique (RCP 4.5 ou RCP 8.5).

L'impact du changement climatique sur les rendements dans la région de Fatick diffère entre le nord (département de Fatick) et le sud (département de Foundiougne). La figure 28 montre les écarts de rendement relatif avec des pertes de rendement plus prononcées à Niakhar qu'à Toubacouta aux horizons 2035 et 2050. Cette différence peut s'expliquer par les projections du climat futur dans la zone de Fatick qui montrent un réchauffement plus important sur la zone nord (cf rapport climatologie). Les températures de la zone sud du bassin arachidier, influencées par l'océan, devraient augmenter plus lentement. De plus, une augmentation de la température a un impact significatif sur le bilan hydrique qui est plus préjudiciable dans la zone de Niakhar, où l'eau est souvent un facteur limitant.

L'effet majeur des changements climatiques sur les rendements de mil, du sorgho et du maïs en Afrique de l'Ouest a été la perte de rendement induite par la hausse des températures réduisant le cycle de croissance des cultures et augmentant le stress hydrique dû à une plus grande évaporation (Dingkuhn et al., 2003; Sultan et al., 2013; Thornton et al., 2009). Cependant, le changement de précipitations a un impact, même s'il est inférieur à celui dû au changement de température. Ainsi, à un certain niveau de réchauffement (ex. +2°C), les impacts négatifs causés par l'élévation de la température ne pourront être compensés par aucun changement de précipitations (Sultan et al., 2014). Dans le cas des céréales à Niakhar et à Toubacouta, la température serait un des facteurs climatiques responsables de la perte de rendement suivant les deux scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 (Annexe 7). L'étude de leur relation montre un rôle significatif de la température sur le cycle des variétés de mil et de sorgho et non significatif pour les variétés de maïs (Annexe 7). Cette tendance similaire dans la réponse physiologique du mil et le sorgho est due à leurs exigences thermiques notamment leur température minimale permettant la germination et la croissance (T_{base}) estimée à 11° et leur température potentielles (T_{pot}) comprises entre 32 et 36°, alors que pour le maïs la T_{base} est de 8° et la T_{pot} comprise entre 26 et 34°. Ainsi, toute variation de la température moyenne au-delà de la température moyenne de la culture aura un effet néfaste sur la culture (Mishra et al., 2008; Traoré et al., 2011). La réduction du cycle des cultures par l'augmentation des températures est de fait l'une des principales causes de baisse de rendement pour ces cultures. Cependant, il est difficile d'évaluer les rôles respectifs des variations de température et de précipitations sur les rendements des cultures, ces deux variables étant étroitement liées.

A cause de l'incertitude des prévisions de changement des précipitations et du rôle défavorable de la température, les impacts potentiels sur les cultures seront très différents de ceux observés dans l'histoire. Définir des stratégies d'adaptation à cette situation dans la zone de Fatick est donc un défi sans précédent. Sultan et al., (2013) ont montré que les variétés traditionnelles de mil et de sorgho sensibles à la photopériode utilisée depuis des siècles par les agriculteurs locaux semblent être plus résistants aux conditions climatiques futures que les variétés à cycle court privilégiées pour leur potentiel de rendement élevé (-28% contre -40% pour le scénario de +4 ° C / - 20%). En effet, la sensibilité à la photopériode présenterait certains avantages en cas de démarrage tardif de la saison des pluies. Elle permet aux cultures d'avoir une floraison même s'il y a un décalage de la date de semis et évite un remplissage incomplet de grain, un problème des variétés tardives à cause du manque d'eau à la fin de la saison des pluies (Dingkuhn et al., 2006). Cependant, les variétés à cycle court fixe de 90 jours produiraient davantage dans des conditions de fertilité optimales dans un environnement plus chaud, même si elles sont davantage touchées par le changement climatique. Les variétés traditionnelles sensibles à la photopériode présenteront toujours l'avantage d'une variabilité de

rendement plus faible et d'une résistance accrue à la sécheresse. Identifier ces variétés traditionnelles locales est essentiel pour développer une stratégie de sélection qui tienne compte du compromis entre intensification et résilience aux changements climatiques (Dingkuhn et al., 2006; Sultan et al., 2013). L'impact des changements climatiques est moins marqué sur les variétés d'arachide et contrairement aux céréales, une faible perte et un gain de rendement sont notés pour les variétés d'arachide. Ces résultats confirment ceux de Faye et al., (2018) et sont également en accord avec l'étude récente de Hathie et al., (2017). Contrairement à l'attente selon laquelle les changements climatiques entraîneront inévitablement des pertes de rendement pour l'agriculture ouest-africaine (Roudier et al., 2011), l'arachide montre un résultat prometteur pour le secteur agricole sénégalais où il constitue l'une des sources de revenus des populations. Cette légère augmentation de la variété à cycle moyen serait due au fait que l'arachide est une culture avec un cycle moins précis avec une maturité moins sensible aux fortes températures.

L'impact négatif des changements climatiques noté sur les céréales, base de l'alimentation dans la région de Fatick aura probablement un effet direct sur les ménages agricoles. Selon les résultats de l'analyse socio-économique, la baisse des rendements pourrait occasionner une augmentation du prix des produits agricoles en 2035 comme en 2050. En conséquence, cette hausse des prix des produits agricoles entraînera une hausse des prix de tous les autres produits. Ces résultats sont conformes avec ceux de l'étude de la Direction de la Planification de Diop et al., (2015). En effet, en se basant sur le modèle T21, les auteurs concluent que les changements climatiques entraîneront, à partir de 2020 une baisse des rendements agricoles et par conséquent une réduction des revenus et la consommation des ménages ruraux.

En effet, une forte baisse du taux de salaire dans les secteurs agricoles attendu affecterait le revenu du travail des ménages du bassin arachidier et des autres ménages ruraux et par conséquent le revenu disponible. De même les ménages urbains subiront la baisse du revenu du travail à cause de la baisse du taux de salaire dans les secteurs non agricoles, et par conséquent une diminution du revenu disponible. L'effet combiné de la hausse des prix des produits et de la baisse du revenu disponible des ménages pourrait être à l'origine d'une baisse du pouvoir d'achat des ménages du bassin arachidier et des autres ménages. Cela implique également une baisse de la consommation minimum. Dès lors, la variation équivalente varie négativement, marquant une détérioration du bien être des ménages.

Les effets négatifs des changements climatiques en 2035 et 2050 sur la production pourraient être à l'origine d'une variation négative du PIB. Le caractère décroissant de la pluviométrie engendre une diminution de la croissance économique, autrement dit, une contraction de l'activité économique.

5.3.5 Synthèse de l'évaluation de la vulnérabilité future

Dans le cadre de l'évaluation de l'exposition aux aléas climatiques futurs dans la région de Fatick des indicateurs climatiques ont été calculés et analysés à l'aide de différents jeux de données. Les résultats montrent une diminution probable du cumul pluviométrique saisonnier dans le futur (horizon 2035 et 2050) qui pourrait être inférieur à 600mm.

Les projections du début de la saison des pluies montrent un retard avec des débuts de saisons allant jusqu'à la deuxième moitié du mois de Juillet contrairement à la période de référence (1^{er} Juillet). Le début tardif de la saison des pluies va influencer la longueur de la saison des pluies pouvant aller jusqu'à 80 jours. Les températures maximales et minimales pourraient connaître une augmentation vers les horizons 2035 et 2050.

Bien que consistant avec plusieurs études faites au Sénégal, ces résultats présentent des limites notamment sur le cumul pluviométrique qui est sous-estimé par la moyenne d'ensemble des 24 simulations utilisées. Cette sous-estimation pourrait influencer le cumul projeté aux deux horizons. Cette sous-estimation n'est probablement pas due à la résolution horizontale car des études faites avec des modèles régionaux montrent aussi une sous-estimation (Dieng et al., 2016). Il serait bien dans des études futures de faire des corrections sur la quantité de pluies.

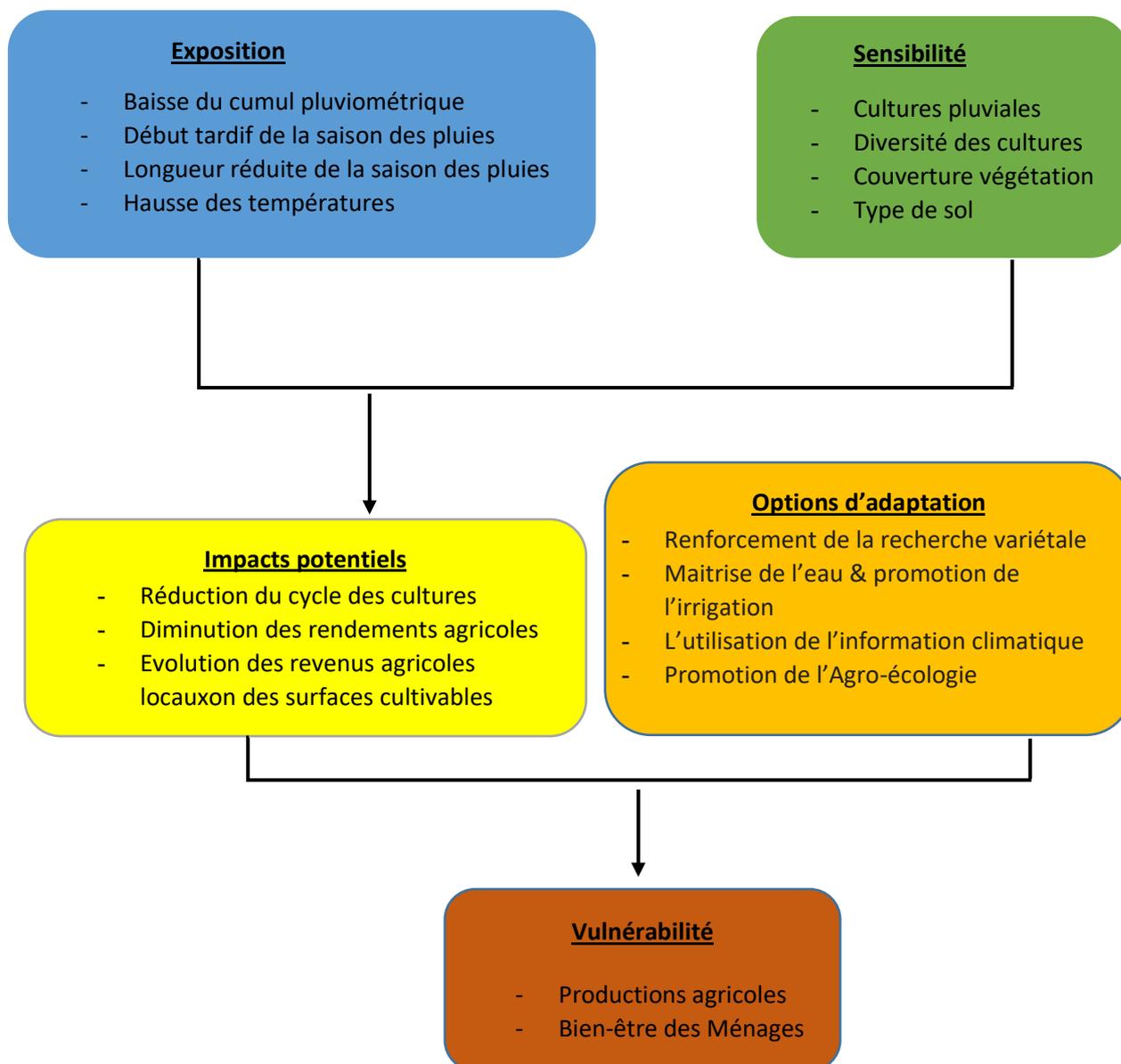
Cette évolution climatique aura probablement un impact sur les cultures pluviales dans la zone et parmi ces cultures, les céréales qui sont la base de l'alimentation des populations. Toutes les cultures céréalières vont subir des pertes de rendements important en particulier les variétés de mil et sorgho (Tableau 3). Pour l'arachide, une légère hausse des rendements est attendue sauf pour le scénario RCP 8.5 à Niakhar où la perte de rendement dans le futur serait plus probable.

Tableau 12 : Synthèse des valeurs de rendements par spéculation à Niakhar et à Toubacouta selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5

Horizon	Niakhar RCP 4.5		Niakhar RCP 8.5		Toubacouta RCP4.5		Toubacouta RCP8.5	
	H2035	H2050	H2035	H2050	H2035	H2050	H2035	H2050
Mil	-9.3	-19.4	-22.9	-36.9	-8.3	-18.5	-20.9	-36.6
Maïs	-8.1	-17.4	-22.5	-35.7	-7.0	-15.4	-19.6	-33.9
Sorgho	-14.5	-27.3	-25.3	-41.8	-12.0	-23.8	-22.8	-39.8
Arachide	12.2	9.2	-5.8	-9.6	4.4	7.3	7.5	12.6

Les résultats de l'analyse socio-économique ont montré que le climat prévu en 2035 et 2050, entrainera une baisse de la productivité des secteurs agricoles et des autres secteurs économiques et une diminution de la main d'œuvre agricole, notamment non qualifiée. Une diminution du taux de salaire dans tous les secteurs d'activités agricoles comme non agricoles occasionnera une baisse du revenu du travail et une détérioration du bien être des ménages compte tenu de la hausse des prix des produits agricoles et des autres produits. Enfin les résultats ont montré une baisse probable du PIB correspondant à un ralentissement de l'activité économique du pays.

La synthèse de ces différents facteurs montre une vulnérabilité élevée du secteur agricole dans la zone de Fatick aux horizons 2035 et 2050. L'évolution climatique future dans la zone caractérisée par une pluviométrie plus faible, des longueurs de saison plus courtes et des températures élevées serait défavorable aux différentes cultures pluviales majoritairement cultivées. Parmi ces cultures, certaines présentent d'importantes capacités de résistance aux conditions climatiques futures, donc un spectre d'adaptation large notamment les variétés traditionnelles de mil et de sorgho sensibles à la photopériode. La conservation et l'amélioration de ces variétés traditionnelles locales à travers des programmes de sélection est essentiel pour développer des variétés plus adaptées aux conditions futures.



Chaîne d'impacts de la vulnérabilité future du secteur agricole pour la région de Fatick
(Projet PAS-PNA, 2018)

6 Synthèse des vulnérabilités actuelle et future pour le secteur (avec mise en perspective)

Zone d'étude : Niakhar et Toubacouta					
Vulnérabilité actuelle		Vulnérabilité future			
Risques climatiques	Vulnérabilité	Scenario RCP 4.5	Scenario 8.5	Vulnérabilité	Adaptation
Hausse des températures	- Augmentation de l'évapotranspiration	Hausse température H2035 et H2050 Tmax : (0.61±0.06 et 1.26±0.14), Tmin : (0.71±0.06 et 1.46±0.12)	Hausse température H2035 et H2050 Tmax : (0.69±0.08 et 1.78±0.17), Tmin : (0.77±0.08 et 1.99±0.16)	Perte de rendement moyen des céréales de -8% à 14% à l'horizon 2035 et de -17% à -27% à l'horizon 2050, et une légère hausse pour l'arachide jusqu'à +12%	Développement de variétés résistantes à la sécheresse ou à la chaleur
	- Réduction du cycle des cultures				
Démarrage tardif et fin précoce des pluies	-Retard de germination	Réduction de la longueur de la saison de -	Réduction de la longueur de la saison de -		Utilisation de variétés précoces
	Croissance réduite des cultures	8.33±4.46 (H2035) et -11.56±7.11 (H2050)	6.10±5.18 (H2035) et -14.99±7.77 (H2050)		
	-Non bouclage du cycle des cultures				
Cumul et pauses pluviométriques	-Perturbation des phases de croissance et de reproduction,	Réduction du cumul pluviométrique de -9.40 (H2035) et -14.00 (H2050)	Réduction du cumul pluviométrique de -21.86 (H2035) et -24.21 (H2050)		Mise en place de système de gestion et de valorisation des eaux de pluies
	-Baisse des capacités productives des cultures				
Accélération de la salinisation des terres	-Réduction des terres cultivable			Restauration des terres (ex: poursuivre la GDT)	
	-Disparition de la végétation				
Dégradation des sols par érosion hydrique et éolienne	-Baisse de la fertilité des sols			Maîtrise des techniques de fertilisation et promotion de l'agro-écologie	
	-Perte de production post récolte				
	-Réduction des surfaces cultivables				

Tableau 13: Synthèse de la vulnérabilité actuelle et future du secteur agricole à Niakhar et Toubacouta

7 Identification des options d'adaptation

D'une manière générale, les agriculteurs développent de nombreuses formes d'adaptation spontanées. Cependant, il est probable qu'au moins dans certains pays, plus particulièrement dans les pays de la zone Sahélienne, le rythme et l'ampleur des changements climatiques dépasseront ceux du changement normal dans le domaine de l'agriculture. Par conséquent, des technologies spécifiques et

des styles de gestion devront être adoptés pour éviter les effets néfastes sur le secteur agricole. Dans le cadre de cette étude du PAS-PNA, un certain nombre d'options d'adaptation ont été identifiées en lien avec la vulnérabilité du secteur agricole dans la zone de Fatick. L'agriculture est un secteur clés dans la zone du fait de la position du bassin arachidier comme première zone agricole du Sénégal, ainsi des options d'adaptation ont déjà été élaborées dans des documents récents comme la CDN, la CPDN et le Plan Climat Territorial Intégré (PCTI). Dans le cadre du PAS-PNA, un atelier participatif organisé au niveau local (Fatick en novembre 2018) a permis de recueillir les idées d'options d'adaptation auprès des populations en lien avec les changements climatiques (tableau 14). Ces options d'adaptation font référence à la vision selon laquelle « A l'horizon 2050, les communautés de la région de Fatick sont résilientes aux changements climatiques et assurent une gestion durable des ressources naturelles ».

Tableau 14 : Options d'adaptation identifiées lors de l'atelier participatif organisé à Fatick en novembre 2018

Rang	Options d'adaptation prioritaires identifiées lors de l'atelier participatif organisé à Fatick en novembre 2018
1	Promotion des variétés adaptées
2	Promotion des systèmes d'alerte précoce
3	Promotion des techniques de maîtrise de l'eau
4	Transformation agro-alimentaire
5	Diversification des sources de revenus

La synthèse des différentes options (celles développées lors de l'atelier de Fatick et celles déjà identifiées dans les documents stratégiques) a permis d'identifier deux niveaux d'action dans l'élaboration des options d'adaptations : un niveau individuel ou communautaire impliquant directement l'agriculteur et un niveau plus large impliquant la gouvernance politique (tableau 15).

Tableau 15 : Options d'adaptation identifiées suivant les vulnérabilités et les différentes activités et résultats potentiels

Mesure	Niveau	Action	Résultat potentiel
Adaptation des cultures	Institutionnel	Renforcement de la recherche variétale, mise au point de nouvelles variétés adaptées au climat actuel	Réduction du risque de perte de production agricole
	Institutionnel	Amélioration et conservation des variétés traditionnelles	Exploitation du potentiel génétique existant
	Institutionnel	Mise à disposition de semences certifiées de variétés adaptées	Sécurisation de la production agricole
	Institutionnel	Promotion des innovations technologiques (Petits matériel agricole)	Assurer une bonne diffusion et l'adoption des résultats de la recherche par les paysans
	Institutionnel	Renforcement des capacités des paysans	Récupération de terres impropres à la culture, Réduction de l'érosion des

		pour une gestion durable des terres	soils et réduction de perte des nutriments
	Institutionnel	Renforcer le système de suivi et d'alerte et de gestion des ravageurs et maladies	Protection des cultures face aux maladies et aux ravageurs
Maîtrise de l'eau & promotion de l'irrigation locale	Institutionnel	Mise en place de système de gestion et de valorisation des eaux de pluies (bassin de rétention, lac artificiel ...)	Gestion des pauses pluviométriques et l'arrêt précoce de la saison
	Institutionnel	Construction et réhabilitation d'ouvrages hydrauliques	Développement d'une irrigation locale, le maraichage
Promotion de l'Agro-écologie	Individuel	Utilisation de la matière organique, du compost et autres biofertilisants	Réduction de l'usage des pesticides chimiques
Promotion de l'utilisation de l'information climatique	Institutionnel & Individuel	Renforcement du système d'alerte précoce en milieu rural	Anticipation des producteurs sur les variétés et les pratiques agricoles
Dispositif de sécurisation des conditions alimentaires des ménages	Institutionnel	Accompagnement des ménages en période de soudure	Réduction de l'insécurité alimentaire
Transformation agroalimentaire	Institutionnel & Individuel	Commercialisation des produits agricoles	Ecoulement des produits agricoles
Promotion de l'assurance agricole	Institutionnel	Développement de l'assurance agricole dans le monde rural	Assurance sur les risques liés aux changements climatiques
Structuration des producteurs en coopératives	Institutionnel & Individuel	Regroupement en GIE, Organisation Paysanne etc	Synergie d'actions, facilité d'accès au crédit, contractualisations avec le privé

Bien que la plupart des options d'adaptations aux changements climatiques soient caractérisées par le changement des systèmes de production agricole, le renforcement des capacités institutionnelles affecte la vitesse et l'ampleur de l'adoption. Le temps nécessaire pour la mise en œuvre des mesures d'adaptation varie considérablement en fonction de l'échelle, du coût, des ressources et des capacités nécessaires pour mettre en œuvre la mesure et surmonter les obstacles. Parmi les différentes mesures d'adaptation identifiées, l'adaptation des cultures y compris l'utilisation de variétés adaptées, et la maîtrise de l'eau sont les mesures prioritaires à l'horizon 2050 compte tenu des résultats des projections qui révèlent une diminution de la longueur de la saison et du cumul pluviométrique.

Il est important de souligner qu'en terme d'élaboration de mesures d'adaptation aux changements climatiques des actions sont planifiées à court et moyen termes notamment dans la région de Fatik dans le cadre du Plan National d'Adaptation (PNA) ainsi que dans la mise en œuvre du Programme

d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (PRACAS) qui constitue le volet agricole du Plan Sénégal Emergent (PSE). Ces actions sont articulées autour de deux grands axes que sont : (i) le changement des systèmes de production agricole et (ii) le renforcement des capacités institutionnelles. Il est également prévu une diversité d'actions dans le cadre de la Nouvelle Alliance pour la Sécurité Alimentaire et la Nutrition (NASAN). Ces actions tournent principalement autour de: (i) la préservation/restauration des facteurs de production, (ii) la promotion d'une agriculture irriguée diversifiée, compétitive et durable (iii) l'amélioration de manière durable de la productivité de l'agriculture pluviale, (iv) le renforcement des capacités techniques et de recherche, y compris le conseil agricole, (v) la promotion des pratiques de GDT, à travers une approche programmatique et plurisectorielle à l'horizon 2026.

8 Conclusion et recommandations

En dépit de sa relative faible contribution à la croissance du PIB, l'agriculture fait partie des secteurs prioritaires de développement au Sénégal. Cette situation tient entre autres, à son potentiel de création d'emplois et donc de lutte contre l'insécurité alimentaire, surtout en milieu rural. En plus des défis classiques auxquels elle a été confrontée jusqu'ici, le secteur agricole devra faire face aux risques inhérents aux changements climatiques.

La région de Fatick, avec l'agriculture pluviale comme principale activité économique est l'une des régions les plus exposées à ces changements du fait de sa situation géographique et du potentiel agricole des terres de plus en plus réduit par des différents facteurs dont les pratiques agricoles souvent inadaptées. L'étude de l'évolution climatique future de la région de Fatick montre une diminution probable du cumul pluviométrique saisonnier qui pourrait être inférieur à 600mm, un retard du début de la saison des pluies et une diminution de la longueur de la saison qui pourrait être de l'ordre de 80 jours et une augmentation des températures maximales et minimales aux horizons 2035 et 2050.

Les rendements des cultures pluviales vivrières comme les céréales ou de rente comme l'arachide qui sont étroitement liés aux facteurs climatiques pourraient être négativement affectés. Le mil et le sorgho serait parmi les cultures les plus exposées alors que l'arachide serait plus résiliente aux changements climatiques futures. Cependant les rendements des cultures seraient plus impactés par la température qui serait le risque climatique futur qui aura plus d'effets sur les rendements agricoles. Cet impact négatif sur la productivité du secteur agricole dans le futur pourrait occasionner une diminution de la main d'œuvre agricole, notamment non qualifiée, une diminution du taux de salaire dans tous les secteurs d'activités agricoles comme non agricoles et une détérioration du bien être des ménages compte tenu de la hausse des prix des produits agricoles. Cette situation serait à l'origine d'un ralentissement global de l'activité économique du pays et une baisse du PIB.

A défaut de politiques et programmes d'adaptation au niveau régional, les impacts du changement climatiques risquent d'aggraver les contre-performances du secteur agricole dans la région de Fatick. Parmi les options d'adaptation prioritaires figurent le renforcement de la recherche variétale par l'amélioration des variétés locales et le développement de nouvelles variétés adaptées, la maîtrise de l'eau et la promotion de l'irrigation locale, l'amélioration de la fertilité des sols, la promotion de l'agroécologie etc.

La réponse donnée jusqu'ici à ce phénomène par l'Etat du Sénégal et ses partenaires y compris les ONG, par la mise en place de projets et programmes agricoles se révèle insuffisante. Cette réponse, en plus des ressources financières difficiles à mobiliser, souffre d'un manque de coordination et d'articulation mais surtout d'approche holistique considérant le système agricole dans son ensemble. Le PAS-PNA dans sa démarche a adressé ce défi en regroupant différents niveaux à la fois politiques, techniques, systémiques, individuelles par le renforcement des capacités scientifiques afin de faciliter la planification et la programmation de mesures d'adaptation adéquates pour la région de Fatick.

Malgré les résultats intéressants sur l'étude de vulnérabilité du secteur agricole et les options d'adaptation proposées, un certain nombre de limites méthodologique ont été noté dans la démarche suivi. Parmi les limites nous avons :

- La réduction de l'agriculture aux productions végétales (cinq cultures pluviales) ;

- L'indisponibilité de données agricoles de bonne qualité nécessaires pour une modélisation des cultures ;
- Le temps d'exécution du projet sur 10 mois très court pour la réalisation d'une étude scientifique approfondie ;

Pour aller plus loin dans l'étude de vulnérabilité du secteur agricole à l'échelle local ou national, il faudrait :

- Une prise en compte des différents sous-secteurs de l'agriculture notamment l'élevage, la foresterie etc ;
- Un ensemble de données agricoles chronologiques sur les différents sites d'études ;
- La mise en place d'expérimentations en station et en milieu paysan spécifiques au projet et répondant aux critères fixés dans la méthodologie de modélisation ;

9 Références

- Adiku, S.G.K., MacCarthy, D.S., Hathie, I., Diancoumba, M., Freduah, B.S., Amikuzuno, J., Traore, P.C.S., Traore, S., Koomson, E., Agali, A., Lizaso, J.I., Fatondji, D., Adams, M., Tigana, L., Diarra, D.Z., N'diaye, O., Valdivia, R.O., 2014. Climate Change Impacts on West African Agriculture: An Integrated Regional Assessment (CIWARA), in: Handbook of Climate Change and Agroecosystems, ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation. IMPERIAL COLLEGE PRESS, pp. 25–73. https://doi.org/doi:10.1142/9781783265640_0014
- Aggarwal, P.K., Kalra, N., Chander, S., Pathak, H., 2006. InfoCrop: a dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. *Agric. Syst.* 89, 1–25.
- Alhassane, A., Salack, S., Ly, M., Lona, I., Traore, S.B., Sarr, B., 2013. Evolution des risques agroclimatiques associés aux tendances récentes du régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. *Secheresse* 24, 282–93. <https://doi.org/10.1684/sec.2013.0400>
- Alle, C.S.U.Y., Baron, C., Guibert, H., Agbossou, E.K., Afouda, A., 2014. Choice and risks of management strategies of agricultural calendar: application to the maize cultivation in south Benin. *Int. J. Innov. Appl. Stud.*
- ANSD, 2014. Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage (RGPHAE). Dakar.
- Ardoin, S., Niel, H., Servat, E., Dezetter, A., Boyer, J.-F., Mahe, G., Paturel, J.-E., 2003. Analyse de la persistance de la sécheresse en Afrique de l'ouest: caractérisation de la situation de la décennie 1990. *IAHS Publ.* 223–228.
- Baier, W., 1973. Crop-Weather Analysis Model: Review and Model Development. *J. Appl. Meteorol.* 12, 937–947. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1973\)012<0937:CWAMRA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1973)012<0937:CWAMRA>2.0.CO;2)
- Baron, C., Sultan, B., Balme, M., Sarr, B., Traore, S., Lebel, T., Janicot, S., Dingkuhn, M., 2005. From GCM grid cell to agricultural plot: scale issues affecting modelling of climate impact. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 360, 2095–2108. <https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1741>
- Barrios, S., Ouattara, B., Strobl, E., 2008. The impact of climatic change on agricultural production: Is it different for Africa? *Food Policy* 33, 287–298.
- Bodian, A., 2014. Caractérisation de la variabilité temporelle récente des précipitations annuelles au Sénégal (Afrique de l'Ouest). *Physio-Géo* 297–312. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.4243>
- Boote, K.J., Jones, J.W., Pickering, N.B., 1996. Potential uses and limitations of crop models. *Agron. J.* 88, 704–716.
- Bouquillion-Vaugelade, C., Vignac Buttin, B., Lacombe, B., 1972. Les unités collectives et l'urbanisation au Sénégal: étude de la famille Wolof.
- Boyer, J.F., 1998. Logiciel Chronostat d'analyse statistique de series chronologique. IRD UR2 Program. 21.
- BSNAT, 1990. IBSNAT progress report 1987-1990.
- Cabral, F.J., 2012. L'impact des aléas pluviométriques sur les disparités régionales de pauvreté au Sénégal. *Rev. Econ. Dev.* 20, 69–95.
- Cabral, F.J., 2011. Aléas pluviométriques et pauvreté dans les économies du Sahel: le cas du Sénégal. *Mondes Dev.* 129–144.
- CPDN, 2015. Contribution Prévue Déterminée au niveau National au changements climatique climatique.
- Dancette, C., 1980. Besoins en eau et adaptation du mil à la saison des pluies au Sénégal, in: Proceedings

- of the International Workshop on the Agroclimatological Research Needs of the Semi-Arid Tropics, Hyderabad, India, 22-24 November 1978. Patancheru, Andhra Pradesh, India, International Crops Research, Institute for the Semi-Arid Tropics, 1980.
- Decaluwe, B., Lemelin, A., Robichaud, V., Maisonnave, H., 2013. PEP-1-t: The PEP standard single-country, recursive dynamic CGE model (Version 2.1). Partnersh. Econ. Policy. Quebec Univ. Laval.
- Deme, A., Galle, S., Hourdin, F., 2015. Les projections du climat en Afrique de l'Ouest: évidences et incertitudes. Les sociétés Rural. face aux Chang. Clim. environnementaux en Afrique l'Ouest, Ed. IRD, Paris, Fr.
- Deryng, D., 2015. Climate change impacts on crop productivity in global semi-arid areas and selected semi-arid economies. Small Grant Program. Work. Pap. Overseas Dev. Inst. (ODI), London. Available online <http://prise.odi.org/research/small-grants-programme-climate-change-impacts-on-crop-productivity-in-global-semi-arid-areas-and-selected-semi-arid-eco>.
- Descroix, L., 2018. Processus et enjeux d'eau en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Archives contemporaines.
- Descroix, L., Diongue Niang, A., Panthou, G., Bodian, A., Sane, Y., Dacosta, H., Abdou, M.M., Vandervaere, J., Quantin, G., 2015. Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions: La sénégalie et le bassin du Niger moyen. *Climatologie* 12, 25–43.
- Dilley, M., Chen, R.S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A.L., Arnold, M., Agwe, J., Buys, P., Kjekstad, O., Lyon, B., Yetman, G., Lerner-Lam, A.L., Arnold, M., Agwe, J., Buys, P., Kjekstad, O., Lyon, B., Yetman, G., 2005. Natural Disaster Hotspots A Global Risk Analysis, World Bank. <https://doi.org/10.1080/01944360902967228>
- Dingkuhn, M., Baron, C., Bonnal, V., Maraux, F., Sarr, B., Sultan, B., Clopes, A., Forest, F., 2003. Decision support tools for rainfed crops in the Sahel at the plot and regional scales, Decision support tools for smallholder agriculture in Sub-Saharan Africa: a practical guide.
- Dingkuhn, M., Singh, B.B., Clerget, B., Chantereau, J., Sultan, B., 2006. Past, present and future criteria to breed crops for water-limited environments in West Africa. *Agric. Water Manag.* 80, 241–261.
- Diop, M.B., Ndiaye, P.D., Diop, S., Sarr, G., 2015. Changements climatiques et croissance économique : une analyse prospective. Direction de la Planification, juillet 2015.
- Droogers, P., van Dam, J., Hoogeveen, J., Loeve, R., 2004. Adaptation strategies to climate change to sustain food security. *Clim. Chang. contrasting river basins Adapt. Strateg. water, food Environ.* Netherlands CABI Publ. 49–73.
- Fao/Iiasa/Isrc/Iscas/Jrc, 2012. Harmonized world soil database (version 1.2). FAO, Rome, Italy IIASA, Laxenburg, Austria.
- FaoStat, F.A.O., 2013. Agriculture data. *Agric. Prod.*
- Faye, B., Webber, H., Diop, M., Mbaye, M.L., Owusu-Sekyere, J.D., Naab, J.B., Gaiser, T., 2018. Potential impact of climate change on peanut yield in Senegal, West Africa. *F. Crop. Res.* 219, 148–159.
- Faye, B., Webber, H., Gaiser, T., Diop, M., Owusu-Sekyere, J.D., Naab, J.B., 2016. Effects of fertilization rate and water availability on peanut growth and yield in Senegal (West Africa). *J. Sustain. Dev.* 9, 111.
- GIZ, 2014. A framework for climate change vulnerability assesement.
- Hathie, I., MacCarthy, D.S., Valdivia, R., Antle, J., Adam, M., Adiku, S.G.K., 2017. Climate change impacts on current and future agricultural systems in the semi-arid regions of West Africa.
- Hausmann, B.I.G., Boureima, S.S., Kassari, I.A., Moumouni, K.H., Boubacar, A., 2007. Mechanisms of adaptation to climate variability in West African pearl millet landraces—a preliminary. *J. SAT Agric. Res.* 3, 1–3.

- IPCC, 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers. Ipcc 31. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Jalloh, A., Nelson, G.C., Thomas, T.S., Zougmore, R.B., Roy-Macauley, H., 2013. West African agriculture and climate change: a comprehensive analysis. Intl Food Policy Res Inst.
- Jamieson, P.D., Porter, J.R., Wilson, D.R., 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. F. Crop. Res. 27, 337–350.
- Jeong, H., Jang, T., Seong, C., Park, S., 2014. Assessing nitrogen fertilizer rates and split applications using the DSSAT model for rice irrigated with urban wastewater. Agric. water Manag. 141, 1–9.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. Eur. J. Agron. 18, 235–265.
- Jones, P.G., Thornton, P.K., 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. Glob. Environ. Chang. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(02\)00090-0](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(02)00090-0)
- Kosmowski, F., Lalou, R., Sultan, B., Ndiaye, O., Muller, B., Galle, S., Séguis, L., 2015. Observations et perceptions des changements climatiques: analyse comparée dans trois pays d'Afrique de l'Ouest.
- Kouressy, M., Dingkuhn, M., Vaksman, M., Heinemann, A.B., 2008. Adaptation to diverse semi-arid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod. Agric. For. Meteorol. 148, 357–371.
- MEDD, 2016. Contributions Déterminées au niveau National (CDN)- volet adaptation secteur de l'agriculture.
- Mishra, A., Hansen, J.W., Dingkuhn, M., Baron, C., Traoré, S.B., Ndiaye, O., Ward, M.N., 2008. Sorghum yield prediction from seasonal rainfall forecasts in Burkina Faso. Agric. For. Meteorol. 148, 1798–1814.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Müller, C., Cramer, W., Hare, W.L., Lotze-Campen, H., 2011. Climate change risks for African agriculture. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 108, 4313–5. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015078108>
- Oettli, P., Sultan, B., Baron, C., Vrac, M., 2011. Are regional climate models relevant for crop yield prediction in West Africa? Environ. Res. Lett. 6, 14008.
- Panthou, G., Vischel, T., Lebel, T., Quantin, G., Ali, A., 2015. Caractérisation de la structure spatio-temporelle des pluies extrêmes: estimation de courbes IDSF pour la région de Niamey. La Houille Blanche 58–63.
- PAS-PNA, 2018. État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques pour les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de la zone côtière. Dakar.
- Pettitt, A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. Appl. Stat. 126–135.
- Poeydebat, C., Ricome, A., Affholder, F., Gérard, F., Müller, B., Quirion, P., Sall, M., 2013. « Simulation du rendement des cultures et modélisation bioéconomique pour la représentation des choix techniques des agriculteurs du bassin arachidier au Sénégal ». ANR ESCAPE Changements environnementaux et sociaux en Afrique : passé, présent et futur, I.
- Popova, Z., Kercheva, M., 2005. CERES model application for increasing preparedness to climate

- variability in agricultural planning—risk analyses. *Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C* 30, 117–124.
- Ritchie, J.T., 1998. Soil water balance and plant water stress, in: *Understanding Options for Agricultural Production*. Springer, pp. 41–54.
- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., Berg, A., 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Glob. Environ. Chang.* 21, 1073–1083. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007>
- Salack, S., 2013. Analyse des pauses pluviométriques et évaluation des incertitudes de la pluie des modèles régionaux de climats à l'aide d'un modèle de culture. These Dr. Univ. Cheikh Anta Diop Dakar, Sénégal.
- Sarr, M.A., 2008. Variabilité pluviométrique en Afrique de l'ouest: dynamique des espaces végétaux à partir des images satellitaires. Ex. du bassin versant du Ferlo (Sénégal). *Journées Climatol. société Clim. végétation* 57–76.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70, 1569–1578.
- Schilling, R., 2001. Données agronomiques de base sur la culture arachidière. *OCL. Oléagineux Corps gras Lipides* 8, 230–236.
- Schlenker, W., Lobell, D.B., 2010. Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environ. Res. Lett.* 5. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014010>
- Sivakumar, M.V.K., 1992. Empirical analysis of dry spells for agricultural applications in West Africa. *J. Clim.* 5, 532–539.
- Sivakumar, M.V.K., 1988. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agric. For. Meteorol.* 42, 295–305. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(88\)90039-1](https://doi.org/10.1016/0168-1923(88)90039-1)
- Sultan, B., 2017. Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest. IRD éditions.
- Sultan, B., 2015. Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest, IRD Éditio. ed. Marseille. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.8914>
- Sultan, B., Baron, C., Dingkuhn, M., Sarr, B., Janicot, S., 2005. Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agric. For. Meteorol.* 128, 93–110.
- Sultan, B., Guan, K., Kouressy, M., Biasutti, M., Piani, C., Hammer, G.L., McLean, G., Lobell, D.B., 2014. Robust features of future climate change impacts on sorghum yields in West Africa. *Environ. Res. Lett.* 9. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104006>
- Sultan, B., Roudier, P., Quirion, P., Alhassane, A., Muller, B., Dingkuhn, M., Ciais, P., Guimberteau, M., Traore, S., Baron, C., 2013. Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Environ. Res. Lett.* 8. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014040>
- Team, R.C., 2015. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. 2014.
- Thornton, P.K., Jones, P.G., Alagarwamy, G., Andresen, J., 2009. Spatial variation of crop yield response to climate change in East Africa. *Glob. Environ. Chang.* 19, 54–65.
- Traoré, S.B., Alhassane, A., Muller, B., Kouressy, M., Somé, L., Sultan, B., Oettli, P., Siéné Laopé, A.C., Sangaré, S., Vaksman, M., 2011. Characterizing and modeling the diversity of cropping situations under climatic constraints in West Africa. *Atmos. Sci. Lett.* 12, 89–95.
- Wall, E., Marzall, K., 2006. Adaptive capacity for climate change in Canadian rural communities. *Local Environ.* 11, 373–397.

- Williams, J.R., Jones, C.A., Dyke, P.T., 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Trans. ASAE* 27, 129–144.
- Zabell, S.L., 2008. On Student's 1908 Article "The Probable Error of a Mean." *J. Am. Stat. Assoc.* 103, 1–7. <https://doi.org/10.1198/016214508000000030>

Annexes

Annexe 1: Analyse des moyens d'existence à Niakhar (Source : Adapté de Wall and Marzall, (2006))

Indicateurs	Score	Sous-indicateurs
Physique/Naturel	4 /5	78% estime que la fertilité des sols est en baisse et 80% note une baisse considérable et progressive de la pluviométrie .
		87% des personnes enquêtées ont au moins le minimum d'équipement agricole pour cultiver (Charrue et Semoir). Ce pendant ce matériel est vétuste pour la majorité car datant des années 80. 23% des personnes enquêtés estime n'avoir pas de terres cultivables . Le nombre moyen de parcelles par ménage est de 3 (D'habitude 2 champs de mil et 1 d'arachide, le maïs et la pastèque sont occasionnellement cultivés).
		La végétation est de moins en moins dense et diversifiée (Observations)
		Plus de la moitié estime également que l'avance de la salinisation cause d'énormes pertes de terres cultivables .
Social	2/5	Seulement 13,8% appartiennent à un GIE, OP ou projet agricole existants dans la zone (ex: Clusa PSEME, PAFA, ASC JAM BUGUM, l'ANCAR, ASPRODEL).
		78,7% des personnes enquêtées ont acquis leurs terres par héritage, 4% par location à raison de 15000/ha et 15% par prêt chez un voisin.
Humain	2/5	Le nombre moyen de personne en charge est de 12 pour chaque ménage.
		40% analphabète , l'instruction français 27% (primaire et moyen), 1% coranique
		Le nombre d'années d'expérience moyenne est de 48,6 ans 77,2% n'ont qu'une main d'œuvre familiale, et font souvent recours à l'entraide. Une infime partie fait des contrats ou paye des travailleurs par journée
Économique	3/5	Près de 98% estiment que la raison de l'exercice de leur activité principale (agriculture) est de subvenir aux besoins alimentaire, 2% font également du commerce sur les cultures de rente.
		47,2% des personnes enquêtées n'ont pas une production agricole (céréales) suffisante pour leurs besoins alimentaires pour toute la saison, donc pas de réserve de semences pour la saison suivante. Ils sont obligés d'acheter sur le marché du mil, ou faire un échange
		91% considère que les rendements sont en baisse

		<p>65% des enquêtées estiment avoir des ressources alternatives. La majeure partie dépende des membres de la famille établie à Dakar, le petit commerce, la culture de pastèque etc.</p> <p>52,03% ont une production de mil supérieur à la moyenne (847kg), 18% de celle de l'arachide (846kg). Ce pendant plus de la moitié des enquêtés trouve que l'écoulement des produits agricoles est difficile du fait des prix faibles proposés par l'Etat et des bons impayés (par l'Etat).</p>
Institutionnel	3/5	<p>Sensibilisation communautaire avec les conventions locales (Ouverture et fermeture du bois). GDT (Gestion durable des terres) entre 2011 et 2013 piloté par ISRA et concernant 8 communes. Programme de régénération naturelle assistée (RNA) pour les arbres. « GTP (Groupe de travail pluridisciplinaire) coordonné par la météo (ANACIM). Dotation en semences certifiées (Sunna3).</p>

Annexe 2: Analyse des moyens d'existence à Toubacouta (Source : Adapté de Wall and Marzall, (2006))

Indicateurs	Score	Sous-indicateurs
Physique/Naturel	3 /5	77% estime que la fertilité des sols est en baisse et 84% note une baisse considérable et progressive de la pluviométrie .
		90% des personnes enquêtées ont au moins le minimum d'équipement agricole pour cultiver (Charrue et Semoir). Ce pendant ce matériel est vétuste pour la majorité car datant des années 80. Le problème de terres cultivables ne se pose pas. Le nombre moyen de parcelles par ménage est de 4.
		La végétation est de moins en moins dense et diversifiée (Observation), mais reste encore quelques poches de forêt.
		Moins d'impact de la salinisation des terres mais pression des touristes étrangers sur les terres
Social	2/5	Seulement 5,1% appartiennent à un GIE, OP ou projet agricole existants dans la zone (ex: Clusa PSEME, PAFA, l'ANCAR).
		43,5% des personnes enquêtées ont acquis leurs terres par héritage, 5,1% par location à raison de 15000/ha et 28% par prêt chez un voisin.
Humain	2/5	Le nombre moyen de personne en charge est de 10 pour chaque ménage.
		56% analphabète , 15% instruction français (primaire et moyen), 8% coranique
		Le nombre d'années d'expérience moyenne est de 51 ans
		85% n'ont qu'une main d'œuvre familiale, et font souvent recours à l'entraide ou la contractisation (8% chacun).
Economique	3/5	Près de 90% estiment que la raison de l'exercice de leur activité principale (agriculture) est de subvenir aux besoins alimentaire, 2% font également du commerces sur les cultures de rente.
		56,4% des personnes enquêtées n'ont pas une production agricole (céréales) suffisante pour leurs besoins alimentaires pour toute la saison, donc pas de réserve de semences pour la saison suivante. Ils sont obligés d'acheter sur le marché du mil, ou faire un échange
		92,3% considère que les rendements sont en baisse
		69,2% des enquêtées estiment avoir des ressources alternatives . A part le petit commerce il y a le maraichage, les activités liées au tourisme (grands hôtels comme le Paletuvier, Keur Saloum...), la vente des produits forestiers, des fruits de mer et la fraude depuis la Gambie.

		40% ont une production de mil supérieur à la moyenne (1333,3kg), 31% de celle de l'arachide (1510,3kg). Cependant l'écoulement des produits agricoles est difficile du fait des prix faibles proposés par l'Etat et des bons impayés (par l'Etat).
Institutionnel	3/5	Prervation et reboisement avec l'ONG et <i>Maison du monde</i> et Océanium, UICN, FEM, l'association NEVEDAY... » « GTP (Groupe de travail pluridisciplinaire) coordonné par la météo (ANACIM). Dotation en semences certifiées (Sunna3). Mise en place de l'Air Marine protégée de Bamboung

Annexe 3: Fiche d'enquête utilisée pour la collecte des données auprès des ménages

Fiche d'enquête individuelle – Agriculture

Numéro : Date de l'enquête : .../.../... Localité

Quartier : Heure de début : Heure de fin :

I. Généralités sur l'enquête

Nom et prénom : Ethnie :

Age : Sexe : Situation (s) socio-professionnelle (s):

Nombre de personnes en charge :

Forme et niveau d'instruction :

II. Profil socio-économique

2.1 Activité professionnelle

1. Quelles étaient vos principales activités par ordre d'importance dans le passé ?

1. Agriculture 2. Élevage 3. Commerce 4. Artisanat 5. Autre

Précisez :

2. Quelle est votre principale activité actuelle?

1. Agriculture 2. Élevage 3. Commerce 4. Artisanat 5. Autres

Précisez :

3. Depuis quand exercez-vous votre activité principale ?.....

4. Quelles sont les raisons qui vous ont poussé à pratiquer cette activité ?.....

5. Nombre d'année d'expérience :

6. Exercez-vous votre activité principale durant ? 1. Toute l'année 2. Une période

7. Avez-vous d'autres activités ? :

Si oui, lesquelles :

8. A combien estimez-vous le montant de vos rendements agricoles ?

9. Quelles sont vos autres sources de revenu ?.....

10. Faites-vous parti d'une organisation de production? 1. OP 2. GIE 3. Autre

Pourquoi ? :

11. Avez-vous des équipements agricoles?

Si oui, lesquels ?

1. Charrue 2. Semoir 3. Tracteur 4. Rayonneur 5. Autres

12. De quels outils agricoles disposez-vous ?

1. Daba 2. Hilaire 3. Houe 6. Autres

13. Quelle est la main d'œuvre dont vous disposez ?

1. Familiale 2. Contrat 3. Entraide 6. Autres

Précisez.....

2.2 Foncier

14. De combien de parcelles disposez-vous ?..... La superficie totale?.....

15. Comment avez-vous acquis la (les) parcelle (s)? 1. Héritage 2. Don 3. Prêt 4. Autres

Précisez :

2.3 Nutrition

16. Votre production agricole suffit-elle pour subvenir à vos besoins alimentaires ?

- 1 .Oui 2. Non
17. Si non comment faites-vous pour subvenir à vos besoins alimentaires?
.....
.....
.....

III. Appréciation de la variabilité et du changement climatiques

3.1 Pluie

- 18-Selon votre expérience, les saisons sont-elles de + en + :
1. Pluvieuses 2. Sèches
- 19- Les pluies sont-elles de + en + variables ?
1 .Oui 2. Non
- 20- Nombre de séquences sèches par saison
1. Avant.....jours
2. Actuel.....jours
- 21- Durée des séquences sèches
1. Avantjours
2. Actueljours

3.2 Température

- 22-Fait-il de + en + chaud ?
1 .Oui 2. Non
- 23-Les nuits sont-elles de + en + chaudes ?
1 .Oui 2. Non
- 24- Les hivernages sont de + en + chauds ?
1 .Oui 2. Non
- 25- La saison froide est de plus en plus chaude ?
1 .Oui 2. Non

3.3 Paramètres de la saison

- 26- Quelle différence notez-vous dans la date du début d'hivernage ?
- | | | | |
|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Avant | Actuel | Avant | Actuel |
| Mai | Mai | Août | Août |
| Juin | Juin | Septembre | Septembre |
| juillet | Juillet | Octobre | Octobre |
- 27- Quelle différence notez-vous dans la date de fin d'hivernage ?
- 28- Quels sont les indicateurs de début saison ?.....
- 29- Quels sont les indicateurs de fin saison, de
- 30- Indicateurs de bonne saison
- 31- Indicateurs de mauvaise saison

3.4 Evènements extrêmes

- 32- Quelle est l'intensité des pluies ?
C) De plus en plus forte
D) De plus en plus faible
- 33- Quelles en sont les conséquences?
.....
- 34- Les vents sont-ils de plus en plus violents ?
Oui Non
- 35- De plus en plus de sécheresse ?
Oui Non
- 36- Avez-vous quelques repères d'évènements climatiques extrêmes?.....
- 37- Comment ces phénomènes ont impacté l'agriculture dans le passé ?
.....
.....

IV. Vulnérabilité agricole

38- Quelles étaient vos principales spéculations il y a 20 ans ou 30 ans ?

1. Mil 2. Sorgho 3. Niébé
4. Arachide 5. Maïs 6. Autres

Précisez les variétés:

40- Utilisez-vous des semences améliorées ?

.....

41- le bouclage du cycle des cultures a-t-il changé?

1. Oui 2. Non

Si oui lesquelles ? :

43- La date de floraison a-t-elle aussi changé ?

1. Oui 2. Non

Si oui, indiquez :

La date antérieure :

La date actuelle :

45- La date de maturité physiologique a-t-elle subi un changement ?

1. Oui 2. Non

Si oui, indiquez :

La date antérieure :

La date actuelle :

47- Les dates de récolte ont-elles changé ?

1. Oui 2. Non

Si oui, indiquez :

dates antérieures :

actuelles :

49- Quelles étaient les infestations les plus fréquentes par le passé ?

.....

.....

51- Les rendements agricoles sont-ils en baisse ?:

1. Oui 2. Non

Si oui, comment expliquez-vous cette baisse? (par ordre d'importance)

1. baisse de la pluviométrie /...../

2. retard de semis/...../

3. fin précoce de l'hivernage /...../

4. maladies/...../

5. parasitisme/...../

Si non, quelles stratégies utilisez-vous ?.....

52- A combien estimez-vous votre récolte passée ? 53- La fertilité des sols est-elle en baisse ?

39- Quelles sont vos principales cultures actuelles ?

1. Mil 2. Sorgho 3. Niébé
4. Arachide 5. Maïs 6. Autres

Précisez :

Si changement : demander pourquoi ? et depuis quand ?.....

.....

42- La longueur du cycle des cultures a-t-elle varié?

1. Oui 2. Non

Si oui, indiquez

Longueur cycles antérieure.....

Longueur cycles actuels :

44- les dates de semis ont-elles changées?

1. Oui 2. Non

Si oui indiquez :

Les dates antérieures.....

Les dates actuelles :

46- Avez-vous modifié vos techniques d'entretien des cultures ?

1. Oui 2. Non

Si oui indiquez :

La fréquence antérieure.....

La fréquence actuelle :

48- Le nombre d'infestation a-t-il changé ?

1. Oui 2. Non

Si oui, comment:

1. En hausse 2. En baisse Les dates

50- Les plus fréquentes actuellement ?

.....

.....

66- Scénario 3 : Si les conditions climatiques actuelles se détériorent, que ferez-vous ?

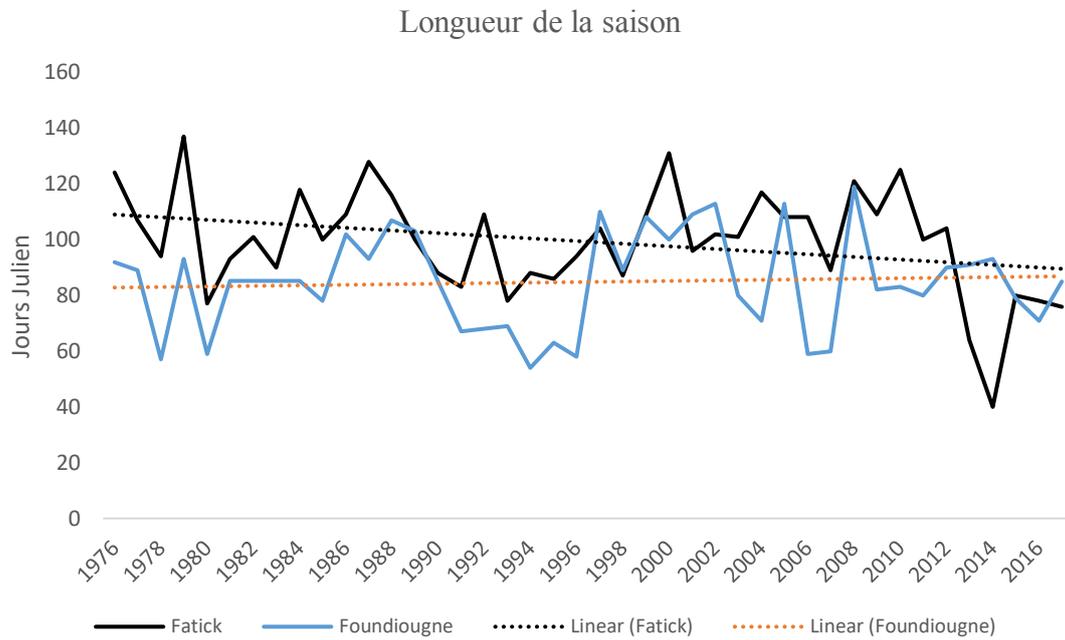
Par exemple : Si la pluie diminue et ou que la longueur de la saison diminue (80j au lieu de 90j par ex)
que ferez-vous ?

.....
.....
.....

Annexe 4: Les activités génératrices de revenus et leurs contributions aux moyens d'existence du ménage à Niakhar et Toubacouta

Activité	Niakhar	Toubacouta
Agriculture+Petit_Commerce	10.8	0.0
Agriculture	51.8	33.3
Agriculture+Transporteur	4.8	10.3
Agriculture+Travail_saisonnier	12.0	10.3
Agriculture+Maraichage	0.0	15.4
Agriculture+Pension_retraite	2.4	0.0
Agriculture+Commerce	20.5	12.8
Agriculture+Salaire_fonctionnaire	3.6	2.6
Agriculture+Entrepreneur	0.0	5.1
Agriculture+Aide_familiale	16.9	0.0
Agriculture+Elevage	15.7	7.7
Agriculture+Artisanat	8.4	2.6

Annexe 5: L'évolution interannuelle de la longueur de la saison selon les données des stations de Fatick et Foundiougne



Annexe 6: Liste des modèles climatiques utilisées pour l'analyse climatique selon les scénarios rcp 4.5 et rcp 8.5

Modèle Climatique	Scenarios
ACCESS1-0	rcp8.5/rcp4.5
ACCESS1-3	rcp8.5/rcp4.5
bcc-csm1-1-m	rcp8.5
bcc-csm1-1	rcp8.5/rcp4.5
BNU-ESM	rcp8.5
CanESM2	rcp8.5
CMCC-CESM	rcp8.5
CMCC-CM	rcp8.5
CMCC-CMS	rcp8.5
CNRM-CM5	rcp8.5
CSIRO-Mk3-6-0	rcp8.5
GFDL-CM3	rcp8.5/rcp4.5
GFDL-ESM2G	rcp8.5/rcp4.5
GFDL-ESM2M	rcp8.5/rcp4.5
HadGEM2-AO	rcp8.5
HadGEM2-CC	rcp8.5
HadGEM2-ES	rcp8.5/rcp4.5
inmcm4	rcp8.5/rcp4.5
IPSL-CM5A-LR	rcp8.5/rcp4.5
IPSL-CM5A-MR	rcp8.5/rcp4.5
IPSL-CM5B-LR	rcp8.5/rcp4.5
MIROC-ESM-CHEM	rcp8.5
MIROC-ESM	rcp8.5
MIROC5	rcp8.5/rcp4.5
MPI-ESM-LR	rcp8.5
MPI-ESM-MR	rcp8.5
MRI-CGCM3	rcp8.5
MRI-ESM1	rcp8.5
NorESM1-M	rcp8.5

Annexe 7: Régression linéaire des variables climatiques selon les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 sur la longueur du cycle des cultures à l'horizon 2050. Les valeurs correspondent aux P-values et les signes « * » ou « . » font référence à la significativité du test.

Niakhar 4.5	Mil90	Mil120	Maïs90	Maïs120	Sorgho90	Sorgho120
Cumul Pluvio	0.68119	0.69456	0.0832 (.)	0.08026 (.)	0.8879	0.9766
Temp Maximale	<2e-16 (***)	<2e-16 (***)	0.9145	0.196	2.48e-15 (***)	<2e-16 (***)
Temp Minimale	<2e-16 (***)	<2e-16 (***)	0.979	0.121	3.26e-15 (***)	<2e-16 (***)

Niakhar 8.5	Mil90	Mil120	Maïs90	Maïs120	Sorgho90	Sorgho120
Cumul Pluvio	0.0368 (*)	0.0524 (.)	0.5187	0.4554	0.352	0.305
Temp Maximale	<2e-16 (***)	1e-15 (***)	0.926	0.404	0.00000193 (***)	0.000000050 (***)
Temp Minimale	<2e-16 (***)	7.06e-15 (***)	0.934	0.417	0.00000327 (***)	0.000000007 (***)

Toubacouta 4.5	Mil90	Mil120	Maïs90	Maïs120	Sorgho90	Sorgho120
Cumul Pluvio	0.150	0.185	0.0396 (*)	0.17726	0.168	0.121
Temp Maximale	3.8e-16 (***)	<2e-16 (***)	0.9361	0.219	4.16e-15 (***)	<2e-16 (***)
Temp Minimale	<2e-16 (***)	<2e-16 (***)	0.989	0.143	5.71e-15 (***)	<2e-16 (***)

Toubacouta 8.5	Mil90	Mil120	Maïs90	Maïs120	Sorgho90	Sorgho120
Cumul Pluvio	0.1965	0.2303	0.77962	0.33479	0.269995	0.22785
Temp Maximale	<2e-16 (***)	1.37e-15 (***)	0.961	0.408	0.00000237 (***)	0.000000060 (***)
Temp Minimale	<2e-16 (***)	5.73e-15 (***)	0.921	0.388	0.00000029 (***)	0.000000065 (***)

values et les signes « * » ou « . » font référence à la significativité du test

Annexe 8 : Aspects méthodologique liés à l'évaluation de la vulnérabilité future du secteur Agricole

1. Evaluation de la sensibilité du secteur agricole

Dans le cadre de l'évaluation de la vulnérabilité future du secteur agricole dans la région de Fatick, une étude de l'évolution des rendements a été effectuée avec les modèles de simulation de la croissance des cultures SARRA-H (Système d'Analyse Régionale des Risques Agro-climatiques-H) développé par le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) et DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) (Jones et al., 2003). Une partie des données agricoles et climatiques utilisées dans le cadre de cette modélisation a été obtenue à travers les partenaires du projet PAS-PNA notamment l'ISRA et le programme AMMA2050⁴.

1.1. Description du modèle SARRA-H

Le modèle SARRA-H, est un modèle dynamique très simple, utilisé pour estimer l'impact des variations climatiques sur les cultures comme les céréales (mil, sorgho, maïs, riz pluvial) (Baron et al., 2005; Dingkuhn et al., 2003; Kouressy et al., 2008). C'est un modèle de croissance des cultures qui utilise en entrée cinq données climatiques journalières : maximum et minimum de température, la pluviométrie, la radiation solaire et l'évapotranspiration potentielle. D'autres données comme le profil du sol, la capacité au champ et la densité et la profondeur de semis sont aussi utilisées pour évaluer l'évolution des rendements des cultures (Mishra et al., 2008). SARRA-H est fondé sur l'assimilation du carbone selon trois processus :

- interception de la part photosynthétiquement active de l'énergie lumineuse ;
- conversion de la fraction du rayonnement intercepté en matière sèche ;
- répartition de la biomasse produite entre les différents organes de la plante.

SARRA-H intègre deux bilans de la plante et sa phénologie : le bilan hydrique et le bilan carbone. A travers le bilan hydrique, SARRA-H prend en compte les apports d'eau (pluie et irrigation) sur la base de modèles dits de types réservoirs. Deux types de réservoirs sont retenus dans SARRA-H pour estimer l'eau disponible selon les processus d'évaporation, transpiration et stockage d'eau accessible par les racines de la plante cultivée :

- Réservoir de profondeur variable en fonction du front d'humectation, il contient les racines (prof. max) et permet d'évaluer l'offre en eau pour la transpiration ;
- Réservoir de surface permettant d'évaluer l'offre en eau pour l'évaporation.

Dans SARRA-H, l'évaporation s'effectue le plus souvent sur un réservoir superficiel de 15 à 20 cm de profondeur. Le modèle SARRA-H simule le bilan hydrique pour évaluer le devenir de l'eau dans le système sol-plante-atmosphère. Dans ce modèle, un couvert végétal développé correspondant à un l'indice de surface foliaire (LAI) élevé augmente les besoins en eau, et l'impact du déficit hydrique sur l'accroissement de la biomasse est traduit par un indice de satisfaction en eau de la plante ($Tr/TrPot$). Il tient compte des aspects suivants :

- L'assimilation du carbone (modèle de bilan carbone) selon le processus d'interception de la part photosynthétiquement active de l'énergie lumineuse en fonction du taux de couverture foliaire ($1-ltr$) selon la loi de Beer (ϵc) et de conversion de la fraction de lumière interceptée en matière sèche à l'aide d'un coefficient génétique de conversion (ϵb) ;

⁴ <https://www.amma2050.org>

- la densité de semis est ajustée par le taux de levée pour simuler la densité de population ;
- la dynamique d'évolution de la biomasse totale en fonction des phases phénologiques et de sa répartition entre les organes racinaires et aériens (feuilles, tiges, épis, grains) ;
- la phénologie par la prise en compte des phases phénologiques classiques du développement des céréales ; phase végétative (BVP), phase sensible au photopériodisme (PSP), phase reproductive (RPR), phase de maturation des graines (MAT) ;
- la mise en place de la surface foliaire à travers le LAI déduit de la biomasse foliaire, en fonction de la surface massique des feuilles ou "specific leaf area" (SLA) qui varie avec le stade de développement ainsi que l'âge et l'épaisseur de la feuille (Eq. 1) ;

$$LAI = SLA \times Biomfeuille \quad (Eq. 1)$$

- le potentiel génétique du rendement de la plante (Eq. 2) est déduit d'une fraction fixe de la biomasse aérienne ; ainsi, le rendement potentiel (**RdtPot**) est obtenu par la différence des biomasses entre les stades de la floraison (BiomTotStadeRPR) et d'initiation paniculaire (BiomTotStadelp) multiplié par un coefficient (Krdt) que l'on peut déduire de cet indice de récolte (Baki, 2010).

$$RdtPot = kRdt \times (BiomTotStadeRPR - BiomTotStadelp) \quad (Eq. 2)$$

1.1.1. Simulation de rendements avec le modèle SARRAH

a) Données de gestion des cultures et propriétés du sol

Le modèle SARRA-H a été utilisé avec les données de trois (3) cultures céréalières de mil, maïs et sorgho utilisées dans le cadre du projet AMMA2050⁵. Ces données sont obtenues à travers des expérimentations en champs conduites au Sénégal, au Bénin et au Burkina Faso lors des saisons des pluies de 2014 et 2015. Pour chaque culture, deux (2) variétés sont utilisées suivant le cycle : une à cycle court de 90 jours et une autre à cycle long de 120 jours. Pour le maïs, les paramètres retenus proviennent de la calibration sur une expérimentation en milieu contrôlé d'une variété sélectionnée et diffusée au Bénin (la DMR) (Alle et al., 2014). Pour le sorgho, une variété sélectionnée *S. Caudatum*, a été utilisée à partir d'une expérimentation en station au Mali (Kouressy et al., 2008). Pour le mil, les variétés Haïni Kiré Précoce et Normale (HKN) ont été utilisées pour le cycle long ou court et les paramètres obtenus sont issus de la même expérimentation que le maïs. Quatre niveaux de fertilisation déduits par un tri croissant des rendements (F1 < 1800 < F2 < 3200 < F3 < 4600 < F4) ont été effectués pour chaque culture.

Les caractéristiques du sol (taux d'argile, taux de sable, taux de gravier et taux de matière organique) nécessaires pour calculer la réserve utile (RU) de chaque unité de sol sont obtenues à partir de la carte des sols de la FAO (Fao/Iiasa/Isric/Iscas/Jrc, 2012) avec une typologie de 13 unités de sols. Ces caractéristiques existent pour deux couches de sols : à 2 m (pas de contraintes) et 0.60 m (contraintes à l'enracinement). SARRA-H procédera à une lecture directe selon les références géographiques par pixels des valeurs de RU calculée par la méthode de Saxton et Rawls (2006).

⁵ <https://www.amma2050.org/>

b) Calage et validation du modèle SARRAH

Les données expérimentales issues des essais du Bénin et du Burkina Faso ont été utilisées pour la calibration du modèle. La validation a été faite grâce aux données des expérimentations au Burkina Faso pour les saisons de 2014, 2015 et 2016 et les données de rendements obtenus par des paysans de Nioro au Sénégal.

c) Application à la prévision du rendement

Pour chaque variété, les simulations devront démarrer systématiquement un mois avant la date moyenne de début de saison, et se terminer au maximum 10 jours après la phase de maturation de la culture. Le semis est déclenché sur un seuil d'humidité du sol de 10 mm en fin de journée pour le mil et le sorgho, pour le maïs un seuil supérieur (environ 15 mm) est utilisé. La réussite du semis est vérifiée durant les vingt (20) jours qui suivent, sous condition qu'il n'y ait pas plus de dix (10) jours de décroissance de biomasse (respiration de maintenance supérieure à la biomasse journalière produite). La densité de semis varie selon les zones climatiques de 10 000 pieds/ha à 50 000 pieds/ha notamment en fonction des seuils sur les cumuls annuels médians des pluies estimées sur des séries chronologiques de 30 années.

1.2. Description du modèle DSSAT

DSSAT est une plateforme modulaire avec des modèles de simulation du développement, de la croissance et du rendement des cultures, fonctionnant à pas de temps journalier. Les données d'entrée du modèle concernent les caractéristiques du sol (physiques et chimiques), du climat (données journalières), de la culture (caractéristiques de développement), et les pratiques culturales. Le modèle intègre divers processus pour la simulation des bilans hydrique, carboné et azoté des cultures (BSNAT, 1990).

Le bilan hydrique est basé sur le modèle de Ritchie (1998) qui considère un sol unidimensionnel dont le profil peut comprendre plusieurs couches. L'eau (pluie ou irrigation) s'infiltré dans la couche supérieure du profil après extraction du ruissellement selon la méthode USDA-SCS (Soil Conservation Service) modifiée par Williams et al., (1984).

Le drainage est calculé selon une approche en cascade dans laquelle l'excès d'eau au-delà de la capacité au champ d'une couche est reversé automatiquement dans la couche inférieure (Jones et al., 2003). Le drainage ne se produit pas lorsque l'humidité du sol est inférieure à la capacité au champ. Les processus de transpiration et d'évaporation sont séparés. L'évaporation est fonction de la quantité d'énergie reçue à la surface du sol. La transpiration est proportionnelle à la quantité d'énergie interceptée par le couvert.

Le développement phénologique dépend des températures en relation avec deux températures cardinales : la température de base (TBASE) et la température optimale (TOPT). Les processus de croissance (photosynthèse, expansion des feuilles, croissance des grains, mobilisation de l'azote) dépendent aussi d'une température de base et d'une température optimale (Jones et al., 2003). Le module de croissance calcule la matière sèche potentielle comme une fonction linéaire du rayonnement photosynthétiquement actif (PAR) intercepté. Le taux de PAR intercepté par le couvert est une fonction exponentielle du LAI. La matière sèche est allouée aux feuilles, à la tige et aux grains

selon des coefficients de répartition qui varient selon le stade phénologique et qui sont sous l'influence des stress hydriques et azotés.

Le nombre de grains par plante est déterminé durant la phase de floraison en fonction du potentiel génétique du cultivar, du taux d'accumulation de carbone durant la floraison, de la température et des stress hydriques et azotés. La croissance du grain est fonction d'un taux de croissance potentielle journalier, qui peut être modifié par la température et la disponibilité en assimilats. Elle se poursuit jusqu'à la maturité physiologique. Le rendement final est le produit de la densité de population, du nombre de grains par plante et du poids d'un grain (Jones et al., 2003).

1.2.1. Calage et validation du modèle DSSAT

a) Données de gestion des cultures et propriétés du sol

Toutes les données de gestion des cultures requises par le modèle DSSAT sont issues des travaux de Faye et al., (2016) sur les effets du taux de fertilisation et de la disponibilité en eau sur la croissance et le rendement de l'arachide au Sénégal. Au total, deux expérimentations (contre-saison et saison des pluies) ont été conduites durant l'année 2014 à Bambey et à Nioro. Les cultivars d'arachide sélectionnés sont la variété à cycle court Fleur11 (90 jours) et la variété 73-33 à cycle moyen (110 jours). Pour une meilleure calibration du modèle DSSAT les données utilisées concernent uniquement les traitements avec une capacité du champ durant la saison des pluies et sans stress hydrique durant la contre-saison avec la dose d'engrais NPK 6-20-10 recommandée par l'ISRA. La fertilisation a été appliquée un jour après le semis et incorporée à une profondeur de 5 cm avec une houe (Confer Faye et al., 2016).

Dix échantillons de sol composites ont été recueillis à intervalles de 10 cm de 0 à 100 cm de profondeur à l'aide d'une vis sans fin deux semaines avant le semis. Les analyses chimiques et physiques du sol ont été réalisées au laboratoire eau- sol- plantes de l'ISRA de Bambey sur différents paramètres comme le pH (1:2.5 H₂O), le carbone organique, l'azote total, le phosphore disponible, le potassium disponible, la matière Organique, la capacité d'échange cationique le pourcentage de Sable, limon, argile et la densité apparente du sol.

b) Calage et validation du modèle DSSAT

La calibration du modèle DSSAT a été effectuée en l'absence de toute contrainte sur le développement phénologique, la biomasse et le rendement en grains. Les traitements qui ont permis de faire ce calage ont été obtenus durant l'a saison des pluies et la contre-saison de l'année 2014 à Nioro (Sénégal). Le calage a consisté à définir les valeurs des paramètres génétiques de chaque variété d'arachide (Tableau 1), en particulier ceux qui régulent les phases phénologiques, afin de minimiser les différences entre valeurs observées et valeurs prédites pour les dates de floraison et maturité, le LAI, les biomasses aériennes et le rendement en grain.

Tableau 1: Coefficients génétiques des variétés d'arachide Fleur 11 et 73-33 calibré dans DSSAT

Coefficients	Définition	Valeurs Fleur 11	Valeur 73-33
CSDL	Durée critique de la journée en dessous de laquelle la phase reproductive progresse sans effet de la durée (h)	11.84	11.84
PP-SEN	Pente de la réponse relative du développement à la photopériode avec le temps Phénologie (h-1)	0	0
EM-FL	Temps entre l'apparition de la plante et l'apparence de la fleur (R1) (jours photothermiques)	16	20
FL-SH	Temps entre la première fleur et le premier nœud (R2) (jours photothermiques)	7	7.6
FL-SD	Temps entre la première fleur et la première graine (R5) (jours photothermiques)	10	10
SD-PM	Temps entre la première graine (R5) et la maturité physiologique (R7) (jours photothermiques)	43	43
FL-LF	Temps entre la première fleur (R1) et la fin de l'expansion des feuilles (jours photothermiques)	66	66
LFMAX	Taux maximum de photosynthèse des feuilles à 30 ° C, 350 vpm de CO2 et à forte luminosité (mg CO2 / m-2s-1)	1.7	1.5
SLAVR	Surface spécifique de la feuille dans des conditions de croissance standard (cm2g-1)	270	265
SIZLF	Taille maximale de la feuille complète (trois folioles) (cm2)	20	20
XFRT	Fraction maximale de la croissance quotidienne divisée en graine + coque	0.95	0.7
WTPSD	Poids maximum par graine (g)	0.96	0.8
SFDUR	Durée de remplissage des graines pour la cohorte de gousses dans des conditions de croissance standard (jours photothermiques)	40	40
SDPDV	Nombre moyen de graines par gousse dans des conditions de croissance standard (nombre par gousse)	1.65	1.65
PODUR	Temps requis pour atteindre la charge finale des gousses dans des conditions optimales Croissance (jours photothermiques)	10	10
THRSH	Le rapport maximum de (graine / (graine + coque)) à maturité	82	90
SDPRO	Fraction de protéines dans les graines (g (protéines) / g (graine))	0.7	0.7
SDLIP	Fraction d'huile dans les graines (g (huile) / g (graine))	0.51	0.51

La validation a porté sur le rendement en grain, la biomasse totale, les dates de floraison et de maturité et le LAI. Les données qui ont servi à la validation de DSSAT sur les deux variétés Fleur 11 et 73-33 proviennent de l'essai contre-saison et de la saison des pluies 2014 à Bambeby.

c) Evaluation de la performance du modèle

Pour évaluer la performance du modèle, l'erreur quadratique moyenne relative (RMSE) et sa valeur normalisée (nRMSE) exprimée en pourcentage (%) ont été utilisées. Les performances du modèle sont considérées comme excellentes lorsque nRMSE <10%; bonnes si 10% ≤ nRMSE <20%; passables si 20% ≤ nRMSE <30%; et faibles si nRMSE ≥ 30% (Jamieson et al., 1991; Jeong et al., 2014).

1.2.2 Application à la prévision du rendement

L'application à la projection des rendements a consisté à simuler les rendements pour les deux sites d'étude de Niakhar et Toubacouta et selon les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Les deux variétés calibrées de Fleur 11 et 73-33 ont été utilisées dans une analyse de saisonnalité pour une prévision des rendements avec DSSAT en utilisant des données journalières climatiques de 1950 à 2050. Certains paramètres de sols (albédo, conductivité hydraulique) ont été estimés par des méthodologies internes au modèle et sur la base des caractéristiques physiques qui sont renseignées tel que le LL: point de flétrissement permanent, DUL: capacité de champ, SAT: teneur en eau volumétrique à saturation, OC: carbone organique, BD: densité apparente. Les simulations ont été faites avec apport d'engrais selon les recommandations de l'ISRA et une capacité au champ pour chaque site.

1.3 Traitement des données de rendements

Les données de rendements simulées de 1950 à 2005 (pour l'historique) puis de 2006 à 2050 (pour le futur) avec les deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été utilisées pour estimer le changement de rendement. Ce changement est obtenu en calculant l'écart relatif entre le rendement moyen de l'horizon fixé et celui de la période de référence (1985-2010) :

$$\text{EcartRdt} = \frac{\text{Rdt Moyen Horizon fixé} - \text{Rdt Moyen Période de Reference}}{\text{Rdt Moyen Période de Reference}} \quad (\text{Eq. 3})$$

Afin d'identifier des facteurs de risque climatiques, une Analyse en Composante Principale (ACP) est effectuée en combinant les variables climatiques et les données de rendement pour chaque culture. Parallèlement une régression linéaire des variables climatiques sur le cycle des cultures a été effectuée.

2. Analyse des impacts socio-économiques

2.1. Les données

Afin de répondre aux objectifs de l'étude, nous allons nous baser sur la matrice de comptabilité du Sénégal (2011). Cette matrice de comptabilité sociale (MCS), est un tableau qui représente les flux comptables d'une économie donnée à une période donnée ; où les recettes sont en ligne et les dépenses en colonne. Sa cohérence comptable est assurée par l'égalité entre les recettes totales et les dépenses totales, de chaque compte. Sa structure standard se traduit sous forme : d'un compte des branches de production, d'un compte de produits, d'un compte des facteurs de production, d'un compte des unités institutionnelles, d'un compte du reste du monde et d'un compte d'accumulation. La particularité d'une MCS c'est qu'elle permet d'appréhender l'interaction qui existe entre ces différents comptes. Une analyse intra sectorielle et/ou intersectorielle pourrait ainsi être effectuée. Par ailleurs, ces comptes peuvent être désagrégés selon l'objectif d'une étude. Dans cette étude la MCS sera structurée comme suit :

- Les comptes des facteurs de production regroupent : le travail, le capital et la terre.

- Les comptes des agents comportent les comptes des taxes et marges et des comptes institutionnels. Ces derniers sont composés des ménages de Fatick résidant dans le bassin arachidier, des autres ménages du bassin arachidier et des autres ménages du Sénégal, des firmes, du gouvernement et du reste du monde.
- Les comptes des secteurs d'activité, des produits et des exportations constitués de l'agriculture vivrière, l'agriculture industrielle, les secteurs non agricole, l'administration publique et les services « électricité, gaz et eau » et les autres services.
- Le compte des accumulations composé de la Formation Brute de Capital Fixe et des variations de stock.

2.2. Spécification du modèle

Afin de prendre en compte la spécificité de l'étude qui porte sur les changements climatiques, nous introduisons la pluviométrie dans le modèle. Nous intégrons ainsi, un indice pluviométrique dont la valeur dépend de la variabilité de la pluviométrie. En effet, cet indice est le rapport entre la valeur de la pluviométrie à la période t ($pluv_t$) et sa valeur de référence ($pluv_0$) :

$$ipluv_t = \frac{pluv_t}{pluv_0} \quad (4)$$

La valeur de référence de l'indice est donnée par la moyenne pluviométrique de la période 1981-2010. L'indice prend la valeur 1 lorsque la quantité de pluie recueillie est égale à cette moyenne. En dessous de cette valeur, l'indice est compris entre 0 et 1 et indique un déficit pluviométrique. Au-dessus de la valeur 1, l'indice reflète une situation de surplus pluviométrique (Cabral 2011, 2012).

• Production

La fonction de production du modèle est décrite en trois niveaux.

Au premier niveau, la production sectorielle ($XS_{j,t}$) est une résultante de la combinaison de la valeur ajoutée ($VA_{j,t}$) à la consommation intermédiaire totale ($CI_{j,t}$) dans des proportions fixes, suivant la technologie Leontief.

$$\begin{aligned} VA_{j,t} &= v_j XST_{j,t} \\ CI_{j,t} &= io_j XST_{j,t} \end{aligned} \quad (5)$$

Au deuxième niveau, la valeur ajoutée est spécifiée par une fonction à élasticité de substitution constante (CES) combinant le travail composite ($LDC_{j,t}$), le capital composite ($KDC_{j,t}$) et un facteur endogène de productivité globale des facteurs ($B_{j,t}$). Ce dernier, à la période t+1 est une fonction quadratique du niveau de la pluviométrie de la période précédente.

$$\begin{aligned} VA_{j,t} &= B_{j,t}^{VA} \left[\beta_j^{VA} LDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} + (1 - \beta_j^{VA}) KDC_{j,t}^{-\rho_j^{VA}} \right]^{-\frac{1}{\rho_j^{VA}}} \\ B_{j,t+1}^{VA} &= h1 * (pluv_t)^2 + h2 * (pluv_t) \end{aligned} \quad (6)$$

Au troisième niveau, le travail composite est une fonction CES combinant le travail qualifié ($LDq_{j,t}$) et le travail non qualifié ($LDnq_{j,t}$). Le capital composite est une fonction CES de la terre ($LANDagr_{j,t}$), du capital privé agricole ($KDagr_{j,t}$), du capital privé non agricole ($KDnagr_{j,t}$) et du capital public ($KDpub_{j,t}$).

Par ailleurs, nous supposons une relation positive entre l'évolution de la pluviométrie et la disponibilité des terres cultivables. L'offre de terres cultivables ($TOTLAND_{j,t}$) est égale à la demande de terres ($LAND_{j,t}$)

à laquelle s'ajoute la part sous-employée du facteur terre. Cette dernière est égale à la part non exploitée des disponibilités totales en terres ajustée par l'indice pluviométrique. Cet indice renseigne sur la déviation de la pluviométrie par rapport à son niveau de référence (Cabral, 2011,2012).

$$TOTLAND_t = \sum_{agr} LAND_{agr,t} + TOTLAND_t * beta_l * [1 + (1 - ipluv_t)] \quad (7)$$

- **Ménages**

Les ménages reçoivent des revenus qui proviennent du salaire, de la rémunération du capital agricole, du capital non agricole et de la terre, des transferts reçus de l'Etat et des transferts reçus des autres agents. Chaque type de ménage reçoit une proportion fixe des rémunérations de chaque facteur de production, de même les transferts sont répartis entre les ménages dans des proportions fixes. Le revenu disponible des ménages est leur revenu net des taxes et des transferts versés à l'Etat. Une part du revenu disponible est allouée à l'épargne et une autre aux transferts à d'autres agents. Le reste du revenu disponible est affectée à la consommation. Il y'a une substitution imparfaite entre les produits consommés (hypothèse d'Armington), à travers une fonction d'utilité de type CES. Ils ont aussi un minimum de consommation pour chaque bien, donc, leur fonction d'utilité est de type Stone-Geary. Afin d'évaluer la vulnérabilité socio-économique des ménages, nous introduisons dans le modèle l'équation de la variation équivalente qui permet de mesurer le bien-être. L'équation de la variation équivalente s'écrit comme suit :

$$VAREQ_h = \prod_i (PCO_i / PC_{i,t})^{\partial_{i,h,t}} \cdot [CTH_{h,t} - \sum_{i,j} (CMIN_{ij,h,t} \cdot PC_{i,j,t})] - [CTHO_h - \sum_{i,j} (CMIN_{ij,h,t} \cdot PCO_{i,j})] \quad (8)$$

Où

VAREQ est la variation équivalente

PCO_i est le prix d'achat initial du produit composite i (incluant toutes les taxes et marges)

PC_i est le prix d'achat final du produit composite i (incluant toutes les taxes et marges)

CTHO_h est le pouvoir d'achat initial du ménage h

CTH_h est le pouvoir d'achat final du ménage h

CMIN_{ij,h} est la consommation minimum en produit i de la branche j par le ménage h

∂_{i,h} (LES) est un paramètre de distribution du produit i dans le budget de consommation du ménage h

- **Marché du travail**

Afin de tenir compte de l'existence du sous-emploi, nous supposons sa relation inverse avec la pluviométrie. L'offre du travail est ainsi égale à la somme des demandes de travail de chaque secteur d'activité ajustée de la variation de l'indice pluviométrique (Cabral 2011, 2012). L'équation de l'offre de travail s'écrit ainsi comme suit :

$$LS_{l,t} = (\sum_j LD_{j,l,t}) * [1 - (1 - ipluv_t)] \quad (9)$$

2.3 Dynamique du modèle :

Le stock de capital k dans l'industrie j à la période t + 1 est égal au stock de la période précédente net de la dépréciation auquel on ajoute le volume des nouveaux investissements de capitaux de la période précédente. La structure temporelle sous-jacente indique donc que les nouveaux capitaux arrivent une période après que l'investissement ait été placé.

$$KD_{k,j,t+1} = KD_{k,j,t}(1 - \delta_{k,j}) + IND_{k,j,t} \quad (10)$$

Où

$KD_{k,j,t}$ Volume des nouveaux investissements en capital k dans le secteur j (public ou privé)

$\delta_{k,j}$ Taux de dépréciation du capital k utilisé dans le secteur j

Le montant des dépenses publiques d'investissement est déterminé compte tenu du prix de l'investissement public.

$$IT_t^{PUB} = PK_t^{PUB} \sum_{k,pub} IND_{k,pub,t} \quad (11)$$

Où PK_t^{PUB} le prix du nouveau capital public

Compte tenu du prix de l'investissement privé, le volume des nouveaux investissements de capitaux privés est déterminé par l'équation suivante :

$$IT_t^{PRI} = PK_t^{PRI} \sum_{k,bus} IND_{k,bus,t} \quad (12)$$

Où

PK_t^{PRI} : le prix du nouveau capital privé

$IND_{k,bus,t}$: Volume des nouveaux investissements en capital k dans le secteur privé

Nous supposons en outre que le nouveau capital privé est du type « putty-clay » : lorsque la dépense d'investissement est engagée, la quantité totale du nouveau capital privé produit peut être transformée en capital de type k, destiné à tout secteur d'activité ; une fois que le nouveau capital a été attribué, il devient fixe. Cette spécification implique que le prix d'une unité de stock de capital neuf est le même, quel que soit son type k ou le secteur dans lequel elle est placée.

La même hypothèse « putty-clay » est posée en ce qui concerne l'investissement public. Il s'ensuit qu'il y a un prix unique pour le nouveau capital privé et un autre pour le nouveau capital public, et que le volume du nouveau capital est obtenu par une simple sommation. Les prix de l'investissement privé et public sont ensuite obtenus à partir des fonctions de production indirectes implicites dans les fonctions de demande d'investissement.

$$PK_t^{PRI} = \frac{1}{A^{K_PRI}} \prod_i \left[\frac{PC_{i,t}}{\gamma_i^{INV PRI}} \right]^{\gamma_i^{INV PRI}}$$

$$PK_t^{PUB} = \frac{1}{A^{K_PUB}} \prod_i \left[\frac{PC_{i,t}}{\gamma_i^{INV PUB}} \right]^{\gamma_i^{INV PUB}} \quad (13)$$

Avec :

A^{K_PRI} : Le paramètre d'échelle (prix du nouveau capital privé)

A^{K_PUB} : Le paramètre d'échelle (prix du nouveau capital public)

Le volume de nouveaux capitaux k alloués aux secteurs privés est proportionnel au stock de capital existant ; et la proportion varie en fonction du rapport entre le taux de rendement et le coût d'utilisation de ce capital, ce qui peut être interprété comme étant le q de Tobin (voir Lemelin et Decaluwé, 2007).

$$IND_{k,bus,t} = \Phi_{k,bus} \left[\frac{R_{k,bus,t}}{U_{k,bus,t}} \right]^{\sigma_{k,bus}^{INV}} KD_{k,bus,t} \quad (14)$$

Le coût d'utilisation du capital dépend du prix du nouveau capital (le coût de remplacement du capital), du taux de dépréciation et du taux d'intérêt.

$$\begin{aligned} U_{k,bus,t} &= PK_t^{PRI}(\delta_{k,bus} + IR_t) \\ U_{k,pub,t} &= PK_t^{PUB}(\delta_{k,pub} + IR_t) \end{aligned} \quad (15)$$

2.4 Impact socio-économique des chocs pluviométriques en 2035 et 2050

Dans cette section, une analyse de la vulnérabilité future sera effectuée à travers un scénario défini sur une période de 18 ans (horizon 2035) et sur une période de 33 ans (horizon 2050). Le scénario représente un choc de la pluviométrie. Afin de simuler une variation des précipitations à l'horizon 2035 et 2050, nous allons nous baser sur les prévisions pluviométriques fournies par travaux de climatologie effectués dans le cadre de la réalisation des études de vulnérabilité du PAS-PNA.

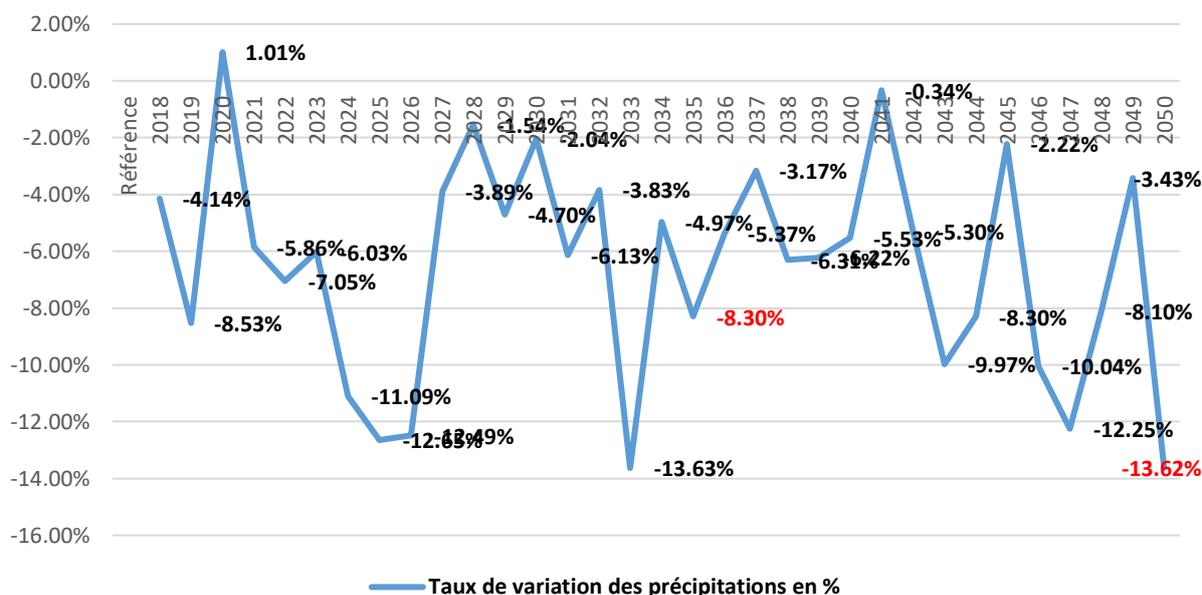


Figure 1: Taux de variation des précipitations de 2018 à 2050 partant de la moyenne pluviométrique de la période de référence (en %) **Source : Auteur à partir des données fournies par le post-doc climatologie**

En partant de la moyenne pluviométrique de la période de référence (1981-2010), nous observons en 2035, une diminution des précipitations de 8,3% et de 13,62% en 2050. L'analyse de l'impact socio-économique de cette baisse des précipitations en 2035 et 2050, s'effectuera à travers les canaux de transmission de ce choc. Puisque le modèle est dynamique, il est important de préciser que les effets du choc sont cumulatifs en passant d'une année à une autre.

3. Résultats

3.1 Calage et validation du modèle SARRAH

Dans la calibration du modèle SARRA-H, les quatre niveaux de fertilisation effectués avec le mil, le maïs et le sorgho sont déduits par tri croissant des seuils de rendements suivant : $F1 < 1800 < F2 < 3200 < F3 < 4600 < F4$. En fonction de chaque culture et la zone climatique, des coefficients de pondération ont été affectés à ces différents niveaux de fertilisation. Avec des données obtenues au Burkina Faso à l'aide d'enquêtes chez 158 propriétaires de parcelles de maïs de 2014 à 2015. En fonction des réponses de l'enquête, la pondération suivante a été effectuée : $0.27 * F1 + 0.47 * F2 + 0.12 * F3 + 0.14 * F4$. Le résultat montre que le modèle reproduit de manière fidèle le rendement en grain de maïs et de sorgho

(Fig. 2A). Pour le sorgho, une comparaison des données de rendement simulées et de données observées entre 2014, 2015 et 2016 au Burkina montre une cohérence dans la prédiction du modèle (Fig. 2B).

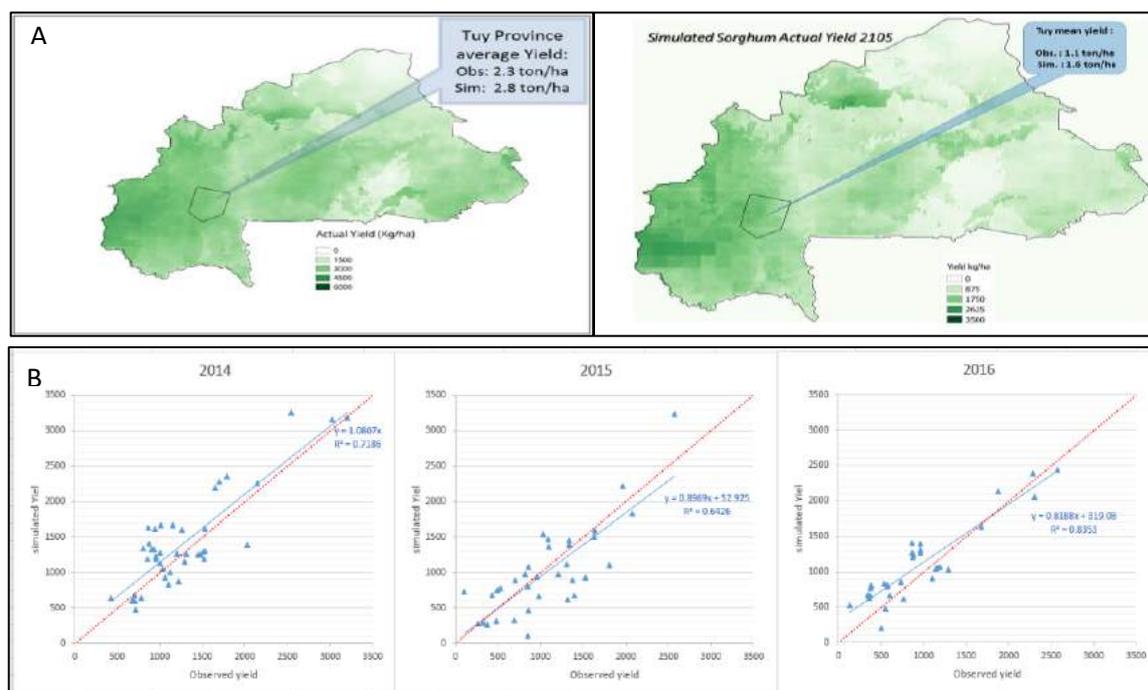


Figure 2: Validation du modèle SARRA-H avec des données rendements observés au Burkina Faso

3.2 Calage et validation du modèle DSSAT

Les données utilisées dans la calibration du modèle DSSAT ont été collectées lors d'essais en conditions de saison des pluies (Rs) et de contre-saison (Os) en 2014 à Niore (Tableau 2). Il s'agit principalement des dates de floraison et de maturité (JAS), des rendements grain (RdtG) et biomasse (RdtB) en Kg/ha, et du LAI. Le modèle reproduit de façon satisfaisante les dates de floraison et de maturité de la variété d'arachide Fleur 11 (respectivement nRMSE=3.6% et 10.5%) et de la variété 73-33 (respectivement nRMSE=7.8% et 5.9%). Pour les rendements, le modèle simule de façon cohérente les RdtG et RdtB pour la variété Fleur 11 (respectivement nRMSE=18.9%, et 10 %) et pour la variété 73-33 (respectivement nRMSE=26.4% et 28.1). Ces valeurs de nRMSE inférieures à 20 montrent une bonne performance du modèle et sa capacité à simuler les rendements futurs des deux variétés d'arachide dans les conditions de l'étude.

La validation du modèle a été effectuée avec des données collectées lors d'essais en conditions Rs et Os en 2014 à Bambey sur les mêmes paramètres mesurés (Tableau 5). Suivant la statistique nRMSE, le modèle simule avec moins d'erreur (nRMSE=10.2%) la date de floraison pour la variété Fleur 11, et de façon excellente la date de maturité (nRMSE=6.0%), le RdtG (nRMSE=13.9%) et le RdtB (nRMSE=7.9). Pour la variété 73-33, le modèle simule de manière acceptable les dates de floraison (nRMSE=10.6%), de maturité (nRMSE=6.4%), mais d'une manière faible le RdtG (nRMSE=79.8%) et le RdtB (nRMSE=23.3).

Tableau 2 : Calibration et validation du modèle et statistiques entre valeurs simulées et observées

CALIBRATION									
VARIETE	ESSAI	FLORAISON (JAS)		MATURITE (JAS)		RDT Grain (Kg/ha)		RDT Biomasse (Kg/ha)	
		Observé	Simulé	Observé	Simulé	Observé	Simulé	Observé	Simulé
FLEUR 11	NIORO OS 2014	30	31	83	89	2700	2370	5863	6496
	NIORO RAIN 2014	25	24	85	74	1566	1100	3082	3006
	RMSE	1.00		8.86		403.77		450.81	
	NRMSE	3.64		10.55		18.93		10.07	
73-33	NIORO OS 2014	34	37	95	100	2187	2312	7110	8035
	NIORO RAIN 2014	31	29	90	84	2130	1336	2768	4506
	RMSE	2.55		5.52		568.36		1392.17	
	NRMSE	7.84		5.97		26.33		28.18	
VALIDATION									
VARIETE	ESSAI	FLORAISON (JAS)		MATURITE (JAS)		RDT Grain (Kg/ha)		RDT Biomasse (Kg/ha)	
		Observé	Simulé	Observé	Simulé	Observé	Simulé	Observé	Simulé
FLEUR 11	BAMBEY OS 2014	34	30	86	87	2386	2714	5707	5943
	BAMBEY RAIN 2014	23	24	80	73	1003	940	1792	2144
	RMSE	2.92		5		236.17		299.67	
	NRMSE	10.23		6.0		13.94		7.99	
73-33	BAMBEY OS 2014	40	35	95	98	1150	2248	5199	6442
	BAMBEY RAIN 2014	28	29	91	83	809	672	2339	2353
	RMSE	3.61		6.04		782.42		878.98	
	NRMSE	10.60		6.49		79.87		23.32	

Annexe 9 : Liste des membres du consortium agriculture

COMPOSITION Consortium Agriculture – Projet PAS-PNA				
		Structures	Personnes ressources	
Structures communes à tous les consortia	1	LPAO	Saïdou Moustapha SALL	
	2	ANACIM	Ousmane Ndiaye Youssouph Sane	
	3	EDEQUE	Serigne Faye	
	4	LARTES	Abdou Salam Fall	
	5	DEEC/DCC	Madeleine D. Sarr Lamine Diatta	
Structures spécifiques	6	Ministère de l'agriculture	Bounama Dieye Djibril Diagne	
	7	ISRA	Yacine Ndour Mbaye Diop	
	8 9	IPAR	Ibrahima Hathié Lamine Samaké Ahmadou Ly	
	10	CSE	Mbaye Dioum	
	11 12	ENSA (Thiès)	Saliou Ndiaye Idrissa Wade	
	13	ISFAR (Bambey)	Serigne Modou Sarr	
	14	Centre National de Recherches Agronomique de Bambey (CNRA) -ISRA	Nathalie Diagne Alpha Bocar Balde	
	15	Centre d'Étude Régional pour l'Amélioration de l'adaptation à la Sécheresse (CERAAS)- ISRA	Bassirou Sine Amadou Oury Diallo	
	16	Section Productions Vegetales et Agronomie UFR S2ATA/UGB	Amadou Ndiaye	
	17	UCAD/Ecole doctorale Sciences Juridiques Politiques Economiques et de Gestion (ED/JPEG)	Pr. Joseph François Cabral	
	18	IRD	Luc Descroix	
	19	INP	Samba Sow	
	20	ITA	Momar Talla Gueye Nafissatou Diop Ndiaye	
	21	CNRF	Diaminatou Sanogo	
	22	CDH	Youga NIANG Saliou NGOM	
			MESRI	Lucie Awa Thione
	Organisation internationale	23	FAO	Mame Ndiobo Diene



Climate Analytics gGmbH

Ritterstr. 3
10969 Berlin
Germany

T / +49 302 5922 9520
E / contact@climateanalytics.org

Climate Analytics Inc. New York

115 E 23rd St, 3rd Floor, Office #319
New York, NY, 10010
USA

T / + 1 718 618 5847
E / info.ny@climateanalytics.org

Climate Analytics Lomé

61, ru 195 Quartier Agbalépédogan
s/c BP 81 555 Lomé
Togo

T / +228 22 25 65 38 / 22 25 74 74
E / togooffice@climateanalytics.org

Mis en oeuvre par :



Mandaté par :



Sous la tutelle de :



En coopération avec :

