Federal Ministry
for Economic Cooperation
and Development

Potsdam Institute for
Climate Impact Research
P I K

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Analyse des risques climatiques pour l'identification et la pondération des stratégies d'adaptation dans le secteur agricole du Niger



Photos:
Cover – © homocosmicos – stock.adobe.com
Introduction – © homocosmicos – stock.adobe.com
Chapitre 1 – Chgt des conditions clim. – © Kenyon Gerbrandt – stock.adobe.com
Chapitre 2 – Chgt hydrologiques – © homocosmicos – stock.adobe.com
Chapitre 3 – Impacts clim. sur la prod. agr. – © toppybaker – stock.adobe.com
Chapitre 4 – Impacts clim. sur la prod. anim. – © homocosmicos – stock.adobe.com
Chapitre 5 – Méth. & données pour l'éval. de l'adptn – © homocosmicos – stock.adobe.com
Chapitre 6 – Adptn & capacité d'adptn au Niger – © Lauren – stock.adobe.com
Chapitre 7– Agroforesterie et RNA © homocosmicos – stock.adobe.com
Chapitre 8 – GIFS – © jean claude braun – stock.adobe.com
Chapitre 9 – L'irrig. pour l'agr. de c.-saison – © homocosmicos – stock.adobe.com
Chapitre 10 – Gestion du fourrage et de l'alim. – © homocosmicos – stock.adobe.com
Chapitre 11 – Incertitudes – © sweet tom – stock.adobe.com
Chapitre 12 – Conclusion – © homocosmicos – stock.adobe.com
Références – © Torsten Pursche – stock.adobe.com
Annexe – © Klemen Misic – stock.adobe.com

Federal Ministry
for Economic Cooperation
and Development

Potsdam Institute for
Climate Impact Research
P I K

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Analyse des risques climatiques pour l'identification et la pondération des stratégies d'adaptation dans le secteur agricole du Niger

Felicitas Röhrig, Nele Gloy, Sophie von Loeben, Christoph Gornott

Ponraj Arumugam, Paula Aschenbrenner, Hye-Rin Léa Baek, Matti Cartsburg, Abel Chemura, Boubacar Ibrahim Fodi, Lemlem Habtemariam, Juliane Kaufmann, Hagen Koch, Stefan Liersch, Sophia Lüttringhaus, Lisa Murken, Oblé Neya, Sebastian Ostberg, Bernhard Schauberger, Roopam Shukla, Julia Tomalka, Stefanie Wesch, Michel Wortmann

2022

Un rapport élaboré par le Potsdam Institute for Climate Impact Research (Institut de recherche de Potsdam sur les effets du changement climatique PIK) avec la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH au nom du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ), en coopération avec le Centre ouest-africain de service scientifique sur le changement climatique et l'utili-sation adaptée des terres (WASCAL), la HFFA Research GmbH ainsi que d'autres interve-nants issus des autorités gouvernementales locales et nationales, de la société civile, des universités, du secteur privé, des professionnels et des partenaires au développement.

Analyse des risques climatiques pour l'identification et la pondération des stratégies d'adaptation dans le secteur agricole du Niger

Felicitas Röhrig [1], Nele Gloy[1], Sophie von Loeben[1], Christoph Gornott[1,2]

Ponraj Arumugam[1], Paula Aschenbrenner[1], Hye-Rin Léa Baek[1], Matti Cartsburg[4], Abel Chemura[1], Boubacar Ibrahim Fodi[3], Lemlem Habtemariam[1], Juliane Kaufmann[4], Hagen Koch[1], Rahel Laudien[1], Stefan Liersch[1], Sophia Lüttringhaus[1,4], Lisa Murken[1], Oblé Neya[3], Sebastian Ostberg[1], Bernhard Schauberger[1], Roopam Shukla[1], Julia Tomalka[1], Stefanie Wesch[1] et Michel Wortmann[1]

[1] Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), [2] Université de Cassel, [3] Centre ouest-africain de service scientifique sur le changement climatique et l'utilisation adaptée des terres (WASCAL), [4] Forum for Food and Agriculture (HFFA) Research GmbH

Remerciements

Ce travail a été commandité et financé par le ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ) auquel notre gratitude est adressée. Les auteurs tiennent également à remercier tous les réviseurs qui ont apporté leur contribution à cette étude - au Centre ouest-africain de service scientifique sur le changement climatique et l'utilisation adaptée des terres (WASCAL), au Humboldt Forum for Food and Agriculture (HFFA) Research GmbH, au BMZ, à la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, et en particulier à Steffen Noleppa, Isabel Hackenberg, Kassoumou Salifou Boubacar, Soulé Moussa et Saidou Salifou pour leur précieuse participation à cette étude.

Des remerciements particuliers sont adressés à nos collègues du Programme de soutien aux politiques climatiques de la GIZ, Sibylla Neer et Enrico Grams, qui ont coordonné l'étude globale et apporté leurs contributions et un feedback précieux. L'équipe les remercie chaleureusement pour leur flexibilité, le temps qu'ils lui ont accordé et leurs contributions. Les auteurs souhaitent également remercier Carla Cronauer (PIK) pour son aide précieuse dans l'édition de l'étude et la coordination des activités de diffusion. Aussi, les auteurs aimeraient remercier cordialement WASCAL et plus précisément Boubacar Ibrahim Fodi pour son soutien au processus d'engagement des acteurs, la conduite des ateliers et la collecte de données. L'étude a beaucoup bénéficié des ateliers tenus à Niamey ayant réuni des intervenants des autorités locales et nationales, de la société civile, des universités, du secteur privé, ainsi que des professionnels et des partenaires au développement. Les débats animés sur l'approche et le contenu de l'étude ont abouti à de judicieuses recommandations.

Contributions des auteurs :

Christoph Gornott, Felicitas Röhrig, Nele Gloy et Sophie von Loeben ont coordonné et révisé l'étude dans son ensemble, veillant à harmoniser les différentes étapes de l'analyse et à en extraire les résultats essentiels et les conclusions. Christoph Gornott, Lisa Murken et Felicitas Röhrig ont élaboré l'approche de l'étude, orientée par les contributions des intervenants. Felicitas Röhrig, Oblé Neya et Boubacar Ibrahim Fodi ont coordonné le processus d'engagement des intervenants. Paula Aschenbrenner a réalisé l'analyse climatique du chapitre 1. Hagen Koch, Stefan Liersch et Michael Wortmann ont conduit l'analyse hydrologique du chapitre 2. Ponraj Arumugam a analysé les impacts climatiques sur les rendements agricoles et l'aptitude aux cultures du chapitre 3 ainsi que les évaluations des risques biophysiques aux chapitres 8-10, sous la direction d'Abel Chemura, de Bernhard Schauberger, de Felicitas Röhrig et de Christoph Gornott. Bernhard Schauberger a analysé les impacts climatiques sur les rendements des cultures en recourant à des méthodes statistiques ; Abel Chemura a conduit une analyse d'aptitude culturale. Sebastian Ostberg et Roopam Shukla ont réalisé l'évaluation de l'impact sur la production animale au chapitre 4 et Stefanie Wesch a contribué à l'encadré sur le changement climatique en tant que moteur des conflits au Niger. Sophia Lüttringhaus, Juliane Kaufmann, Steffen Noleppa et Matti Cartsburg ont mené les analyses coûts-avantages au niveau de l'exploitation dans les chapitres 8-10. Julia Tomalka a contribué aux chapitres 6-8. Sophia Lüttringhaus a contribué au chapitre 10. Sophie von Loeben a contribué au chapitre 9. Tous les auteurs ont contribué au chapitre 5 sur les méthodes et au chapitre 11 sur les incertitudes. Felicitas Röhrig, Nele Gloy, Sophie von Loeben, Lisa Murken, Julia Tomalka ont fourni un soutien global aux recherches. Le résumé pour les responsables politiques a été élaboré par Hye-Rin Léa Baek avec Nele Gloy, Sophie von Loeben et Christoph Gornott. Oblé Neya et Boubacar Ibrahim Fodi ont revu le résumé destiné aux décideurs politiques afin d'assurer l'alignement sur les principales politiques nationales.

Référence recommandée :

Röhrig, F., Gloy, N., von Loeben, S., Arumugam, P., Aschenbrenner, P., Baek, H., Cartsburg, M., Chemura, A., Ibrahim Fodi, B., Habtemariam, L., Kaufmann, J., Koch, H., Liersch, S., Lüttringhaus, S., Murken, L., Ostberg, S., Schauberger, B., Shukla, R., Tomalka, J., Wesch, S., Wortmann, M. & Gornott, C., (2022). *Analyse des risques climatiques pour l'identification et la pondération des stratégies d'adaptation dans le secteur agricole du Niger*. Un rapport élaboré par le Potsdam Institute for Climate Impact Research (Institut de recherche de Potsdam sur les effets du changement climatique PIK) avec la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH au nom du ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement (BMZ), 160 pp. DOI: 10.48485/pik.2022.002.

© Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)
Telegraphenberg A 31
14473 Potsdam
Germany

2022

Cette publication en accès libre est distribuée sous licence Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Generic (CC BY-NC-ND).

Résumé

Au point de vue socio-économique, le Niger est largement dépendant de l'agriculture, un secteur fortement influencé par les facteurs météorologiques et très vulnérable au changement climatique. Actuellement, les informations disponibles sur les risques climatiques et leurs impacts concernant le secteur agricole du pays sont limitées. Cette étude a donc pour objectif de fournir une analyse approfondie des risques climatiques accompagnée d'une vaste évaluation de quatre stratégies d'adaptation potentielles pouvant guider les décideurs locaux en matière de planification et de mise en œuvre de l'adaptation au Niger : (1) l'agroforesterie et la régénération naturelle assistée (RNA) des arbres gérée par les fermiers, (2) la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), (3) l'irrigation et (4) la gestion améliorée du fourrage pour le bétail. L'évaluation des impacts repose sur : des projections climatiques basées sur deux scénarios d'émissions (SSP3-RCP7.0 et SSP1-RCP2.6), une modélisation hydrologique des variations de la disponibilité en eau, la modélisation et la comparaison des rendements futurs de quatre cultures dominantes (le sorgho, le millet, le maïs et le niébé), ainsi qu'une évaluation de la production animale dans les conditions climatiques à venir. À partir de la projection des impacts climatiques sur la production agricole, les quatre stratégies d'adaptation suggérées par différents acteurs ont été analysées au niveau de leur potentiel à atténuer les risques, de leur rapport coût-efficacité et de leur pertinence vis-à-vis des conditions locales. Ces analyses ont été complétées par des évaluations d'experts et des études publiées, des entretiens semi-structurés et deux ateliers réunissant les acteurs concernés. Les résultats montrent que la température quotidienne moyenne devrait continuer d'augmenter au Niger, de jusqu'à +1,3 °C (SSP1-RCP2.6) et de jusqu'à +4,2 °C (SSP3-RCP7.0) d'ici à 2090, par rapport à 2004. La moyenne de la quantité des précipitations annuelles devrait également augmenter jusqu'en 2050 en vertu des deux scénarios d'émissions et s'accompagner d'une baisse légère de la variabilité interannuelle. Dans la seconde moitié de ce siècle, cette tendance concernant les précipitations devrait se poursuivre (SSP3-RCP7.0) ou diminuer légèrement (SSP1-RCP2.6), tandis que la variabilité interannuelle devrait augmenter. En raison de l'augmentation des quantités de précipitations et de la moyenne accrue du débit fluvial annuel, des taux de recharge des nappes phréatiques annuels plus élevés sont attendus d'ici au milieu du siècle.

Les rendements de sorgho baisseraient en général, d'environ 20-50% (SSP1-RCP2.6) ou 40-75% (SSP3-RCP7.0) d'ici à 2090 par rapport à 2005. Des modèles culturaux ont suggéré une augmentation de l'aptitude au sorgho et au millet et pas de changement important pour le maïs et le niébé au Niger en vertu des deux scénarios d'émissions. En outre, la capacité à la polyculture diminuerait à partir du milieu du siècle et limiterait donc les options de diversification des fermiers. En ce qui concerne le secteur de l'élevage, le potentiel de pâturage devrait décroître au sud et s'accroître dans les régions centrales du Niger en vertu de SSP1-RCP2.6, mais augmenterait dans l'ensemble du pays en vertu de SSP3-RCP7.0. Les quatre stratégies d'adaptation se sont révélées être rentables sur le plan économique, avoir un potentiel d'atténuation des risques moyen à fort et entraîner divers avantages conjoints. La pratique de la RNA gérée par les fermiers est très recommandable, car son potentiel de développement est élevé, et la résilience des moyens de subsistance locaux au niveau climatique en sera renforcée. La GIFS permet d'assurer une utilisation plus efficace de l'eau et offre des résultats positifs au niveau environnemental et social. En ce qui concerne l'irrigation, son potentiel d'amélioration des moyens de subsistance des petits exploitants est moyen, mais c'est aussi une stratégie d'adaptation qui nécessite un soutien intensif et qui doit être mise en œuvre avec soin afin d'éviter une surexploitation des ressources en eau locales. Enfin, la gestion améliorée du fourrage, notamment la production de luzerne, contribue à renforcer la résilience des systèmes associant l'agriculture à l'élevage, et a un effet positif sur l'emploi des femmes et des jeunes. En règle générale, l'association de différentes stratégies d'adaptation peut entraîner des avantages supplémentaires. Aussi, l'engagement actif des acteurs et des méthodes participatives sont nécessaires pour assurer la faisabilité et la durabilité des stratégies d'adaptation. Les résultats de cette étude peuvent contribuer à l'élaboration de l'adaptation au niveau national et local ainsi qu'aux décisions concernant les investissements et la planification afin de renforcer la résilience du secteur agricole nigérien et surtout des petits exploitants face au changement climatique.

Mots-clés : adaptation au changement climatique, impacts climatiques, risques climatiques, agriculture, élevage, Niger, modélisation biophysique, analyse coûts-avantages, analyse multicritère.

Table des matières

Résumé i
Liste des figures vii
Liste des tableaux x
Liste des abréviations xi

PARTIE I – IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE 1

Introduction 1
Domaine de l'étude 1
Approche de l'étude 3

Chapitre 1 – Changement des conditions climatiques 7

1.1 Quelles influences subit le climat du Niger ? 7
1.2 Données et méthode 11
1.3 Conditions climatiques actuelles 12
1.4 Changement climatique et variabilité dans le passé et l'avenir proche 13
Résumé du chapitre 1 20

Chapitre 2 – Changements hydrologiques 23

2.1 Brève présentation de la situation hydrologique au Niger 23
2.2 Données et méthode 25
2.3 Changements passés 25
2.4 Changements hydrologiques dans le cadre du changement climatique au 21e siècle 27
2.4.1 Débit fluvial 27
2.4.2 Recharge des eaux souterraines 28
Résumé du chapitre 2 31

Chapitre 3 – Impacts climatiques sur la production agricole ... 33

3.1 Influence météorologique passée sur la production agricole 34
3.1.1 Données et méthode 34
3.1.2 Résultats 34
3.2 Évaluation de l'aptitude culturale et changement des conditions climatiques 36
3.2.1 Données et méthode 36
3.2.2 Facteurs déterminant la vocation culturale au Niger 37
3.2.3 Aptitude culturale actuelle 38
3.2.4 Aptitude au sorgho 38
3.2.5 Aptitude au millet 39
3.2.6 Aptitude au maïs 41
3.2.7 Aptitude au niébé 42
3.2.8 Aptitude à la polyculture 43

3.3 Évaluation de la perte des rendements de sorgho dans les conditions futures du changement climatique 45
3.3.1 Données et méthode 45
3.3.2 Résultats 46
Résumé du chapitre 3 48

Chapitre 4 – Impacts climatiques sur la production animale .. 51

4.1 Le secteur de l'élevage au Niger 51
4.2 Données et méthode 55
4.3 Résultats 56
4.3.1 Potentiels de pâturage dans le passé 56
4.3.2 Changements projetés à long terme 58
Résumé du chapitre 4 60

PARTIE II – ADAPTATION 63

Chapitre 5 – Méthodes et données pour l'évaluation de l'adaptation 64

5.1 Selection of adaptation strategies 64
5.2 Évaluation multicritère des stratégies d'adaptation 66
5.3 Évaluation biophysique du potentiel d'atténuation des risques 67
5.4 Analyse coûts-avantages 67

Chapitre 6 – Adaptation et capacité d'adaptation au Niger 71

6.1 Adaptation et capacité d'adaptation 71
6.2 Facteurs à la base de la planification de l'adaptation 72
6.2.1 Accès aux ressources 72
6.2.2 Contexte local et diversité 73
6.2.3 Savoir et informations 74
6.2.4 Gouvernance, institutions et réseaux 75
6.3 Les sexospécificités, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique au Niger 76
6.3.1 Facteurs déterminants à la vulnérabilité au changement climatique liée au genre 76
6.3.2 Un point de vue intersectoriel 78

Chapitre 7– Agroforesterie et régénération naturelle des arbres gérée par les agriculteurs 81

7.1 Contexte et description de la technologie 81
7.2 Potentiel d'atténuation des risques biophysiques 82
7.3 Analyse coûts-avantages : utilisation de la RNA pour intégrer les arbres *Bauhinia rufescens* dans la production du millet et du niébé 85
7.3.1 Référentiel et scénarios 85
7.3.2 Données de l'étude 85

7.3.3 Suppositions 87
7.3.4 Résultats 87
7.4 Évaluation multicritère 88
7.4.1 Potentiel de développement 88
7.4.2 Développement d'avantages conjoints 89
7.4.3 Résultats négatifs potentiels 89
7.4.4 Obstacles à la mise en œuvre 90
7.4.5 Besoins en matière de soutien institutionnel 90
7.5 Conclusion 91

Chapitre 8 – Gestion intégrée de la fertilité des sols 93

8.1 Contexte et description de la technologie 93
8.2 Évaluation biophysique du potentiel d'atténuation des risques 94
8.3 Analyse coûts-avantages de la GIFS pour l'alternance des cultures du millet et du niébé 97
8.3.1 Référentiel et scénarios 97
8.3.2 Données de l'étude 97
8.3.3 Suppositions 98
8.3.4 Résultats 99
8.4 Évaluation qualitative de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) 100
8.4.1 Potentiel de développement 100
8.4.2 Avantages conjoints potentiels 100
8.4.3 Répercussions négatives potentielles 101
8.4.4 Obstacles à la mise en œuvre 101
8.4.5 Besoins en matière de soutien institutionnel 101
8.5 Conclusion 102

Chapitre 9 – L'irrigation pour l'agriculture de contre-saison . 105

9.1 Contexte et description de la technologie 105
9.2 Évaluation biophysique du potentiel d'atténuation des risques 107
9.3 Analyse coûts-avantages de la production agricole et légumière irriguée en contre-saison 110
9.3.1 Référentiel et scénarios 110
9.3.2 Données de l'étude 110
9.3.3 Suppositions 111
9.3.4 Résultats 111
9.4 Évaluation multicritère 113
9.4.1 Potentiel de développement 113
9.4.2 Développement d'avantages conjoints 114
9.4.3 Répercussions inopportunes potentielles 114
9.4.4 Obstacles à la mise en œuvre 115
9.4.5 Besoins en matière de soutien institutionnel 116
9.5 Conclusion 116

Chapitre 10 – Gestion améliorée du fourrage et de l'alimentation du bétail 119

10.1 Contexte et description de la technologie 119
10.2 Potentiel d'atténuation des risques biophysiques 120
10.3 Analyse coûts-avantages de la gestion améliorée du fourrage et de l'alimentation du bétail : les banques de luzerne fourragère irriguée 123
10.3.1 Référentiel et scénarios 123
10.3.2 Données de l'étude 123
10.3.3 Suppositions 124
10.3.4 Résultats 125
10.4 Évaluation multicritère 126
10.4.1 Potentiel de développement 126
10.4.2 Développement d'avantages conjoints 126
10.4.3 Répercussions inopportunes potentielles 126
10.4.4 Obstacles à la mise en œuvre 127
10.4.5 Besoins en matière de soutien institutionnel 127
10.5 Conclusion 127

Chapitre 11 – Incertitudes 129

11.1 Données des modèles climatiques 129
11.2 Modèles hydrologiques 130
11.3 Modèles culturaux 130
11.4 Analyses coûts-avantages 131

Chapitre 12 – Conclusion et recommandations à l'attention des politiques 133

12.1 Conclusion 133
12.2 Recommandations à l'attention des politiques 135
12.2.1 Agroforesterie 135
12.2.2 Irrigation 136
12.2.3 Gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) 137
12.2.4 Gestion améliorée du fourrage 137
12.2.5 Recommandations générales 138
12.2.6 Programmes disponibles 139

Références 141

ANNEXE 157

Liste des figures

Figure 1 : Carte du Niger avec ses régions administratives. 2
Figure 2 : Chaîne d'impacts de l'analyse des risques climatiques 3
Figure 3 : Carte topographique du Niger et ses zones agro-écologiques. 8
Figure 4 : Deux diagrammes climatiques présentant la répartition annuelle des précipitations et des températures au sud et au nord. 8
Figure 5 : Les SSP ou trajectoires socio-économiques communes de l'ensemble de scénarios défini par le GIEC 9
Figure 6 : Émissions globales de CO_2 ($GtCO_2$) pour toutes les séquences des modèles d'évaluation intégrée (MEI) dans la base de données SSP 10
Figure 7 : Températures annuelles moyennes en °C et précipitations annuelles moyennes en mm au Niger de 1997 à 2016. 12
Figure 8 : Le jour de l'année marquant le début de la saison des pluies établi en moyenne pour les années 1997-2016. 13
Figure 9 : Moyenne annuelle des précipitations maximales par jour sur la période de 1997-2016. 13
Figure 10 : Écarts entre les températures annuelles moyennes en °C au Niger de 1988 à 2006. 13
Figure 11 : La moyenne mobile sur 21 ans du changement des températures moyennes prévues comparées à 2014 en °C. 14
Figure 12 : Simulation et projection du nombre de journées très chaudes par an, pour les moyennes calculées sur la période de 20 ans (2004, 2030, 2050, 2090) en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0. 15
Figure 13 : Simulation et projection du nombre de nuits tropicales par an, pour les moyennes calculées sur la période de 20 ans (2004, 2030, 2050, 2090) en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0. 15
Figure 14 : Différences entre les précipitations annuelles moyennes en mm au Niger de 1988 à 2006. 16
Figure 15 : Projection du changement de la quantité moyenne des précipitations en mm/an et en pourcentage pour les moyennes des périodes 2030, 2050 et 2090, par rapport à 2004 (1995-2014) en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0. 16
Figure 16 : La moyenne mobile sur 21 ans de la projection du changement des précipitations annuelles comparées à 2014 en mm. 17
Figure 17 : Modification des précipitations journalières maximales annuelles de 1988 à 2006. 18
Figure 18 : Projection du changement de la quantité de précipitations journalières maximales annuelles en 2030, en 2050 et en 2090, par rapport à 2004 (1995-2014) en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0. 18
Figure 19 : Projection du changement concernant le début de la saison des pluies en jours en 2030, en 2050 et en 2090, par rapport à 2004 (1995-2014) en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0 19
Figure 20 : Projection du changement concernant le début de la saison des pluies en jours en 2090 (2081-2100), par rapport à 2004 (1995-2014) en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0 pour chacun des dix modèles et la médiane de l'ensemble multi-modèles... 19
Figure 21 : Carte du Niger indiquant les limites du bassin du fleuve Niger. 24
Figure 22 : Observation à long terme du débit du fleuve Niger à Niamey. 26
Figure 23 : Variations du régime du débit du fleuve Niger à Niamey, 1950-2010. 26
Figure 24: Projected change in annual mean discharge at Niamey and at Baleyar. 27

Figure 25 : Débit mensuel moyen pendant la période de référence et les trois périodes à venir en vertu du scénario de réduction des émissions et du scénario d'émissions élevées à Niamey et à Baleyara. 28

Figure 26 : Variation médiane de la recharge des nappes phréatiques (au niveau du sous-bassin) par rapport à la période de référence (1995-2014) pour les deux scénarios et les trois périodes à venir. 29

Figure 27 : Débit décennal moyen à Niamey simulé par SWIM en vertu du scénario SSP1-RCP2.6 fondé sur l'ensemble de modèles climatiques mondiaux indiqués dans la légende. 30

Figure 28 : Séries chronologiques des anomalies de rendements (kg/ha) à l'échelle nationale pour le niébé, le maïs, le millet et le sorgho. 35

Figure 29 : Part de l'écart expliqué (R2) dans les variations de rendements due à la météo à l'échelle régionale pour (a) une estimation avec base de données complète et (b) une estimation avec deux hors échantillon. 36

Figure 30 : Importance des variables dans la modélisation de l'aptitude au sorgho, au millet, au maïs et au niébé au Niger. 37

Figure 31 : Cartes présentant l'aptitude climatique actuelle au sorgho, au millet, au maïs et au niébé au Niger d'après une modélisation basée sur les rendements observés. 38

Figure 32 : Cartes montrant la modélisation des changements de l'aptitude au sorgho liés au climat au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. 39

Figure 33 : Cartes montrant la modélisation des changements de l'aptitude au millet liés au climat au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.. 40

Figure 34 : Cartes montrant la modélisation des changements de l'aptitude au maïs liés au climat au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. 41

Figure 35 : Cartes montrant la modélisation des changements de l'aptitude au niébé liés au climat au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. 42

Figure 36 : Potentiel de l'aptitude à la polyculture dans les conditions climatiques actuelles et sélectionnées pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 au Niger. 44

Figure 37 : Modifications des zones propices de manière optimale à la polyculture au Niger dans les conditions climatiques actuelles et projetées pour 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. 45

Figure 38 : Projections des rendements de sorgho actuels et futurs en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. 46

Figure 39 : Simulation des variations de rendements par région administrative au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0. 47

Figure 40 : Tendances du nombre de têtes de bétail au niveau national de 1995-2020. 51

Figure 41 : Répartition spatiale des (a) bovins, (b) ovins et (c) chèvres sur les 36 départements du Niger pour l'année 2019. 52

Figure 42 : Rendements des herbages annuels suivant différentes densités de cheptel dans une cellule et en une année. 55

Figure 43 : Médiane de l'ensemble multi-modèles du potentiel de pâturage annuel simulé pour la période historique de 1995 à 2014 au Niger. 57

Figure 44 : Variabilité du potentiel de pâturage passé au cours d'une année et sur plusieurs années dans l'ensemble multi-modèle observant la période historique. 57

Figure 45 : Variations du potentiel de pâturage annuel au niveau national en vertu des deux scénarios d'émissions et des trois intervalles chronologiques. 58

Figure 46 : Médiane de l'ensemble multi-modèles du changement du potentiel de pâturage annuel à trois périodes et selon deux scénarios d'émissions. 59

Figure 47 : Aperçu du processus de sélection des stratégies d'adaptation évaluées dans l'étude. 66

Figure 48 : Nombre de stratégies d'adaptation mises en œuvre par les ménages. 79

Figure 49 : Répartition spatiale des variations de rendements du sorgho avec simulation de l'agro- foresterie comparées aux rendements actuels sans intervention au Niger. 83

Figure 50 : Intercomparaison des impacts de l'agroforesterie sur les rendements à différentes périodes. 83

Figure 51 : Impacts de l'agroforesterie sur les rendements par région selon les différents scénarios et les différentes périodes. 84

Figure 52 : Évolution de la valeur actuelle nette dès transition à la production de millet et de niébé dans un système agroforestier avec des arbres Bauhinia rufescens. 88

Figure 53 : Répartition spatiale de l'analyse des impacts avec la gestion intégrée de la fertilité des sols. 95

Figure 54 : Intercomparaison des impacts sur les rendements à différentes périodes. 95

Figure 55 : Impacts de la gestion intégrée de la fertilité des sols sur les rendements par région selon les différents scénarios et périodes. 96

Figure 56 : Développement de la valeur actuelle nette dès la transition à la culture alternée du millet et du niébé associée à la GIFS. 99

Figure 57 : Répartition spatiale de l'analyse des impacts avec l'irrigation automatique. 108

Figure 58 : Intercomparaison des impacts sur les rendements à différentes périodes avec l'irrigation automatique. 108

Figure 59 : Impacts de l'irrigation automatique sur les rendements par région selon les différents scénarios et les différentes périodes. 109

Figure 60 : Évolution de la valeur actuelle nette (VAN) lors du passage d'un revenu non agricole à une production légumière et céréalière irriguée durant la saison sèche dans le cadre des changements climatiques à venir et au fil du temps. 112

Figure 61 : Répartition spatiale de l'analyse des impacts avec la variété améliorée. 120

Figure 62 : Intercomparaison des impacts sur les rendements à différentes périodes avec la variété améliorée. 121

Figure 63 : Impacts sur les rendements par région avec la variété améliorée selon les différents scénarios et les différentes périodes. 121

Figure 64 : Rendements sous des gestions de pâturage et de fauchage. 122

Figure 65 : Évolution de la valeur actuelle nette dès transition à la production irriguée de luzerne. 125

Liste des tableaux

Tableau 1 : Aperçu du changement des conditions climatiques au Niger. 20
Tableau 2 : Récapitulatif des changements hydrologiques dans le cadre du changement climatique au Niger. 31
Tableau 3 : Taux de variations des surfaces par rapport à leur aptitude au sorgho, au millet, au maïs et au niébé d'ici à 2030, à 2050 et à 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 au Niger. 43
Tableau 4 : Récapitulatif des impacts du changement climatique sur la production agricole 49
Tableau 5 : Facteurs de conversion en Unités de bétail tropical (UBT) pour les différents types d'animaux 55
Tableau 6 : Impacts climatiques sur la production animale 60
Tableau 7 : Récapitulatif des principaux indicateurs ACA pour la transition à l'alternance des cultures du millet et du niébé avec l'agroforesterie. 88
Tableau 8 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de l'agroforesterie. 91
Tableau 9 : Récapitulatif des principaux indicateurs ACA pour la transition à l'alternance des cultures du millet et du niébé avec la GIFS. 99
Tableau 10 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de la GIFS en tant que stratégie d'adaptation. 102
Tableau 11 : Récapitulatif des principaux indicateurs ACA pour le passage à l'agriculture irriguée de contre-saison. 112
Tableau 12 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de l'irrigation. 117
Tableau 13 : Récapitulatif des principaux indicateurs ACA pour la transition à la production de luzerne fourragère sur les banques de fourrage irriguées 125
Tableau 14 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de la gestion améliorée du fourrage. 127
Tableau 15 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de toutes les stratégies d'adaptation 134

Liste des abréviations

A/C	Rapport avantages-coûts
ACA	Analyse coûts-avantages
AGRA	Alliance for the Green Revolution in Africa (Alliance pour la révolution verte en Afrique)
ALR	Agrarian Land Re-organization (Réorganisation des terres agraires)
AMPLIFY	Agricultural Model for Production Loss Identification and Failures of Yields (Modèle agricole servant à identifier les pertes de production et de rendements)
ANAM	Agence nationale de la météorologie
AUC	Area Under the receiver operating Curve (Aire sous la courbe ROC)
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Ministère fédéral allemand de la Coopération économique et du Développement)
C3S	Service Copernicus concernant le changement climatique
CDN	Contributions déterminées au niveau national
CFA	Communauté financière africaine
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research (Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale)
CHIRPS	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (Ensemble de données des précipitations relevées par le Climate Hazards Group de l'Université de Californie à Santa Barbara)
CIA	Critère d'information d'Akaike
CILSS	Comité inter-États de lutte contre la sécheresse au Sahel
CMIP	Coupled Model Intercomparison Project
CWR	Crop Water Requirement (Besoin en eau des cultures)
DSSAT	Decision Support System for Agrotechnology Transfer
ECS	Equilibrium Climate Sensitivity (Sensibilité climatique à l'équilibre)
ERA5	Projet de réanalyse atmosphérique du climat mondial cinquième génération du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT)
FAO ou ONUAA	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FEWS NET	Famine Early Warning Systems Network (Réseau de systèmes d'alerte précoce contre la famine)
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIFS	Gestion intégrée de la fertilité des sols
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GLC	Global Land Cover (Couverture végétale mondiale)
GRDC	Global Runoff Data Centre (Centre mondial de données sur les eaux de ruissellement)
GtCO2	Émissions globales de CO2
HWSD	Harmonised World Soil Database (Base de données harmonisée mondiale des sols)
ICV	Improved Crop Varieties (Variétés de cultures améliorées)
IITA	International Institute of Tropical Agriculture (Institut international d'agriculture tropicale)
ISIMIP	Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project
JPA	Jardin potager africain
LPJmL	Lund-Potsdam-Jena with managed Land
MAG/EL	Ministère de l'agriculture et de l'élevage

MCM	Modèle climatique mondial
MCR	Modèle climatique régional
MDA	Ministère de développement agricole
MEI	Modèles d'évaluation intégrée
MMEM	Multi-Model Median (Médiane de l'ensemble multi-modèles)
MOA	Mousson ouest-africaine
ODD	Objectifs de développement durable
OMM	Organisation météorologique mondiale
ONG	Organisation non gouvernementale
OOS	Out-Of-Sample (hors échantillon)
PAGIRE	Plan d'action pour la gestion intégrée des ressources en eau
PIB	Produit intérieur brut
PIK	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (Institut de recherche de Potsdam sur les effets du changement climatique)
PNA	Plan national d'adaptation
PSDB9	Programme Sahel Burkina
RCP	Representative Concentration Pathways (Profil représentatif d'évolution de concentration)
SCADD	Stratégie de croissance accélérée et de développement durable
SIC	Services d'informations climatiques
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SSP	Shared Socioeconomic Pathways (Trajectoires socio-économiques communes)
SWIM	Soil and Water Integrated Model
TIC	Technologies de l'information et de la communication
TRI	Taux de rendement interne
UBT	Unité de bétail tropical
USAID	United States Agency for International Development (Agence des États-Unis pour le développement international)
USD	Dollar US
VAN	Valeur actuelle nette
WASCAL	West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use (Centre ouest-africain de service scientifique sur le changement climatique et l'utilisation adaptée des terres)
XGBoost	eXtreme Gradient Boosting
ZAE	Zone agro-écologique
ZCIT	Zone de convergence intertropicale



PARTIE I – IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Dans la première partie de cette analyse des risques climatiques, nous examinons les interactions entre le changement des conditions climatiques, la disponibilité en eau et l'agriculture au Niger. L'objectif est de répondre aux deux questions principales suivantes :

Comment les conditions climatiques vont-elles évoluer au cours des prochaines décennies ? Comment ces changements vont-ils influencer les activités agricoles des fermiers et des éleveurs au Niger ?

Introduction

De nombreux pays prennent de plus en plus conscience de l'importance de recourir à des stratégies d'adaptation face au changement climatique, or un accompagnement sur la manière de mettre en œuvre les mesures nécessaires pour y parvenir fait défaut. Dans le cadre de leurs engagements internationaux en vertu de l'Accord de Paris, les pays cherchent à élaborer et à déployer des politiques d'adaptation et des plans d'investissement, par exemple dans leurs contributions déterminées au niveau national (CDN) et leurs plans d'adaptation nationaux (PAN). L'absence d'informations climatiques à une résolution spatiale élevée constitue un véritable problème, car les impacts climatiques sur l'agriculture peuvent présenter une forte variabilité à l'échelle locale. Les décisions concernant les stratégies d'adaptation sont souvent prises au niveau infra-national alors que les décideurs sont confrontés à un manque de données locales et spécifiques sur les risques climatiques actuels et projetés, sur leurs impacts, de même que sur les coûts et avantages des stratégies d'adaptation adéquates. Cela montre la nécessité de recourir à des analyses et à des évaluations détaillées des risques climatiques, qui constitueraient une base cruciale à la prise de décisions rentables au niveau local. Une meilleure compréhension de la projection des impacts climatiques sur la production agricole et animale à la fois à l'échelle nationale et régionale est essentielle pour guider, promouvoir et accélérer les investissements publics et privés visant à établir un développement agricole résistant au climat.

La présente étude fournit une analyse détaillée des risques climatiques pour certaines cultures et certains systèmes d'élevage au Niger, ainsi que des recommandations et une évaluation de la faisabilité, des coûts et des avantages de quatre stratégies d'adaptation sélectionnées. Le Niger fait l'objet de cette étude en raison de sa forte dépendance sur le plan socio-économique envers le secteur agricole, particulièrement exposé et vulnérable au changement climatique. Cette étude tente de fournir une base propice à la prise de décisions rentables et pertinentes vis-à-vis des risques pour le secteur agricole au Niger.

Domaine de l'étude

Située au Sahel, la République du Niger est un pays enclavé d'Afrique de l'Ouest qui compte plus de 23 millions d'habitants et connaît un taux de croissance démographique annuel de 3,8%, le plus élevé d'Afrique (Banque mondiale, 2020). Comme d'autres pays d'Afrique subsaharienne, le Niger est fortement vulnérable au changement climatique en raison d'une combinaison de facteurs : une variabilité climatique élevée, une forte dépendance par rapport à l'agriculture pluviale, et une capacité économique et institutionnelle à faire face et à s'adapter à la variabilité et au changement climatique limitée (Challinor et al., 2007 ; Müller et al., 2010 ; Roudier et al., 2011). L'adaptation au changement climatique est particulièrement importante au Niger pour le secteur agricole et animalier (ainsi que leurs composants, la foresterie et la pêche), étant donné qu'il génère près de 39,2% du PIB national (Banque mondiale, 2018). La majeure partie de la production agricole du Niger repose sur des systèmes agricoles de subsistance à petite échelle, et les moyens d'existence dépendent beaucoup de

l'agriculture pluviale et de la production animale pastorale (Global Yield Gap Atlas, n.d.). Les problèmes liés à la dégradation des sols et à la désertification menacent fortement la production agricole, et l'augmentation des températures accompagnée de la variabilité des précipitations s'ajoutent aux facteurs de stress existants. Les cultures de base sont surtout cultivées dans le pays, notamment le millet perlé qui domine clairement les autres (46% de la surface totale), le sorgho (18%), et le niébé (32%). Dans le domaine de l'élevage, les bovins, les chèvres, les moutons et les chameaux sont les animaux prédominants (Global Yield Gap Atlas, n.d.).



Figure 1 : Carte du Niger avec ses régions administratives.

Tous les pays d'Afrique occidentale sont importateurs nets de céréales. Leur production actuelle est donc insuffisante pour répondre aux besoins domestiques (FAO, 2014).

Comme la population nigérienne présente la plus forte croissance démographique au monde, une hausse massive des besoins alimentaires est attendue, d'autant plus difficile à couvrir dans les conditions du changement climatique (Schmidhuber et Tubiello, 2007). Les tendances actuelles de l'agriculture africaine montrent que l'on s'attend déjà à des pénuries même sans compter les effets défavorables du changement climatique (Gerland et al., 2014 ; Ray et al., 2013), ce qui souligne la nécessité d'investir dans des technologies pouvant stimuler la productivité agricole aujourd'hui et dans les conditions climatiques à venir.

Approche de l'étude

Le besoin de données scientifiques sur le changement climatique repose également sur davantage d'informations concernant les impacts climatiques ainsi que des informations accessibles sur les coûts et les avantages des stratégies d'adaptation possibles. De ce fait, cette étude associe l'évaluation des impacts climatiques basée sur la modélisation à une analyse économique et multicritère afin de considérer des stratégies d'adaptation en vertu de différents scénarios d'émissions. Pour cela, nous nous référons à un scénario qui suit une forte atténuation des émissions conformément à l'Accord de Paris (SSP1-RCP2.6) et à un scénario d'émissions sans politique climatique (SSP3-RCP7.0). Cette étude modélise ainsi l'intégralité de la chaîne d'impacts, de l'ampleur des impacts du changement climatique sur les secteurs de l'agriculture, de l'eau et de l'élevage aux actions concrètes possibles grâce à l'évaluation des options d'adaptation et des recommandations à l'attention des politiques, ainsi qu'à une discussion sur l'incertitude des résultats (figure 2).

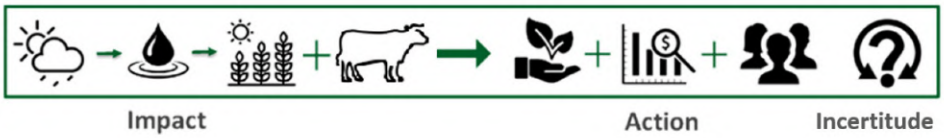


Figure 2 : Chaîne d'impacts de l'analyse des risques climatiques.

Bien que cette étude se concentre principalement sur des cultures agricoles, elle fournit en outre une analyse conjointe des secteurs de l'eau et de l'élevage. L'analyse hydrologique est axée sur la modélisation de la disponibilité future en eau pour la production agricole, évaluant à la fois le débit fluvial et la recharge des nappes phréatiques pour l'irrigation. L'évaluation des impacts climatiques sur la production animale examine la capacité de pâturage future dans le pays, un indicateur des capacités de charge pour le bétail, et les disponibilités fourragères futures. En outre, ces résultats fournissent de précieux enseignements pour d'autres secteurs économiques tels que la foresterie, l'énergie, la santé et les infrastructures. Ils visent à aider les responsables politiques nationaux et locaux, les acteurs du développement, le secteur privé et les agriculteurs à élaborer leur planification et leurs investissements à long terme. Ce rapport scientifique détaillé s'accompagne également d'un résumé et d'un dossier à l'attention des politiques, qui offrent une estimation condensée des principaux résultats intéressants pour la prise de décision stratégique et politique au niveau national et local. Un profil de risque climatique complémentaire sur le Niger fournit un bref aperçu des risques climatiques cruciaux pour d'autres secteurs comme la santé, l'eau, la biodiversité et les infrastructures.

Pour s'assurer que l'objectif de l'étude soit bien en accord avec les visées et priorités du pays, un vaste éventail de spécialistes et d'acteurs locaux sont impliqués dans le processus grâce à des ateliers, à des études réalisées auprès des agriculteurs et à des discussions entre spécialistes. Notre collaboration étroite avec l'institut partenaire local, le Centre Ouest Africain de Service Scientifique sur le Changement Climatique et l'Utilisation Adaptée des Terres (WASCAL) nous a permis d'assurer la validation continue de notre objectif et des résultats.

L'étude est organisée de la manière suivante : chapitres 1 á 4 couvrent l'ampleur des impacts du changement climatique au Niger, tandis que les chapitres 5 à 10 se concentrent sur les actions (ou mesures d'adaptation) à entreprendre :

- Le **chapitre 1** offre un aperçu des changements climatiques passés et projetés à l'avenir au Niger et se concentre sur les fluctuations des températures et des régimes de précipitations dans le pays. Toutes les projections des impacts climatiques reposent sur les résultats de dix modèles climatiques mondiaux en vertu de deux scénarios d'émissions pour l'avenir : un scénario de réduction des émissions (SSP1-RCP2.6) et un scénario d'émissions élevées (SSP3-RCP7.0).

- Le **chapitre 2** examine la variabilité de la disponibilité en eau pour la production de cultures, en observant à la fois le débit fluvial et la disponibilité en eaux souterraines pour l'irrigation.
- Le **chapitre 3** présente un vaste aperçu des impacts climatiques sur la production agricole, de l'influence météorologique sur les rendements des cultures, des variations en matière de vocation des cultures dans le contexte du changement climatique et de la projection des impacts du changement climatique sur la production agricole.
- Le **chapitre 4** évalue les impacts climatiques sur la production animale dans le pays en analysant à la fois la tendance du nombre de têtes de bétail et les projections concernant la capacité de pâturage et les disponibilités fourragères associées dans le contexte du changement climatique.
- Le **chapitre 5** présente les actions à envisager ainsi que les méthodes et approches utilisées pour évaluer les stratégies d'adaptation en commençant par l'évaluation multicritère, puis biophysique, et enfin l'analyse coûts-avantages.
- Le **chapitre 6** fournit un aperçu de la capacité d'adaptation au Niger et expose le cadre d'évaluation permettant de sélectionner et d'évaluer les recommandations d'adaptation pour le secteur agricole, en recourant à des indicateurs biophysiques, économiques et souples.
- Les chapitres **7 – 10** évaluent les stratégies d'adaptation sélectionnées. Le **chapitre 7** examine l'agroforesterie et la régénération naturelle des arbres gérée par les agriculteurs. Le **chapitre 8** s'intéresse à l'utilisation de la gestion intégrée de la fertilité des sols, le **chapitre 9** à l'irrigation, et le **chapitre 10** à la gestion améliorée du fourrage.
- Le **chapitre 11** soulève la question des sources d'incertitude et expose les limites de l'étude afin de faciliter l'interprétation des résultats.
- Pour terminer, le **chapitre 12** établit une synthèse des résultats de l'étude qui permet de définir des recommandations à l'attention des politiques. Ces résultats visent à informer et à soutenir les autorités gouvernementales locales et nationales, les acteurs du secteur caritatif ou privé qui souhaitent définir leurs priorités et concevoir leurs investissements en matière d'adaptation, afin de renforcer la résilience des petits exploitants et des éleveurs face au changement climatique.



Chapitre 1 – Changement des conditions climatiques

Afin d'identifier les changements des conditions climatiques à venir au Niger, ce chapitre analyse plusieurs indicateurs relatifs aux températures et aux précipitations en vertu de deux scénarios d'émissions globaux, les scénarios RCP2.6 et RCP7.0 d'émissions de GES respectivement faibles et fortes utilisés dans les rapports du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (détails dans l'encadré 1). Le RCP2.6 représente un scénario dans lequel l'augmentation de la température mondiale est inférieure à 2 °C par rapport à l'époque préindustrielle (Van Vuuren et al., 2011b) et qui s'accorde donc aux objectifs visés par l'Accord de Paris. Le RCP7.0 est un scénario d'émissions élevées selon lequel "aucune politique climatique" n'est prévue. Les données des projections climatiques ont été analysées afin de présenter l'ampleur possible des conditions climatiques à l'avenir, c'est-à-dire d'ici à 2030, à 2050 et à 2090, et d'en informer ainsi les décideurs politiques et les agents de mise en œuvre pour le moyen et le long terme.

Tout d'abord, les facteurs influençant le climat actuel en Afrique occidentale, et particulièrement au Niger, sont présentés dans la partie suivante. Celle-ci est suivie de la description des données et des méthodes utilisées ainsi que d'un aperçu des conditions climatiques actuelles. À partir de ces éléments, les tendances climatiques passées et futures des variables climatiques annuelles moyennes, des événements météorologiques extrêmes et des variations saisonnières sont analysées.

1.1 Quelles influences subit le climat du Niger ?

Au niveau géographique, le Niger est situé à la frontière sud du Sahara, près des deux-tiers de son territoire est couvert par le désert. Le pays peut être divisé en cinq zones agro-écologiques (ZAE) (Figure 3). La zone saharienne recouvre 74% du pays et constitue la partie nord du territoire. Elle est caractérisée par des climats arides et une steppe herbeuse, couverte de végétaux épineux et d'espèces d'acacias. Les précipitations n'y dépassent généralement pas 200 mm par an. La densité de la population dans cette région est normalement très faible (<10 hab./km2), et celle-ci s'adonne à la production animale (chèvres et chameaux) et à des activités non-agricoles sauf là où se trouvent quelques oasis irriguées (RECA, 2004). La zone saharienne-sahélienne constitue la transition vers la zone sahélienne, toutes deux placées successivement à partir de la zone saharienne vers le sud, et connaissent une augmentation progressive de la quantité des précipitations de 200-300 mm (zone saharienne-sahélienne) et de 300-400 mm (zone sahélienne). L'agriculture et l'élevage sont de plus en plus pratiqués dans ces zones qui occupent ensemble 18% du territoire, la zone pastorale traditionnelle de la zone saharienne-sahélienne étant rapidement colonisée par des champs agricoles du fait que la pression démographique déplace le front agricole vers le nord. La zone sahélienne est une savane clairsemée, densément peuplée, présentant des systèmes de production traditionnels céréaliers et légumiers, parfois ponctués de cultures maraîchères et d'activités agroforestières. L'élevage d'animaux est aussi courant dans les systèmes transhumants ou agropastoraux extensifs.

Vers la frontière sud du pays s'étend ensuite la zone sahélo-soudanienne (7% du territoire) avec des quantités de précipitations entre 400 et 600 mm par an et un potentiel de production agricole comparativement élevé, tandis qu'à la pointe sud du pays (1% du territoire), la zone soudanienne avec plus de 600 mm de précipitations par an détient un potentiel agricole encore plus fort, toutefois largement inexploité, surtout en ce qui concerne les systèmes de production irrigués (RECA, 2004).

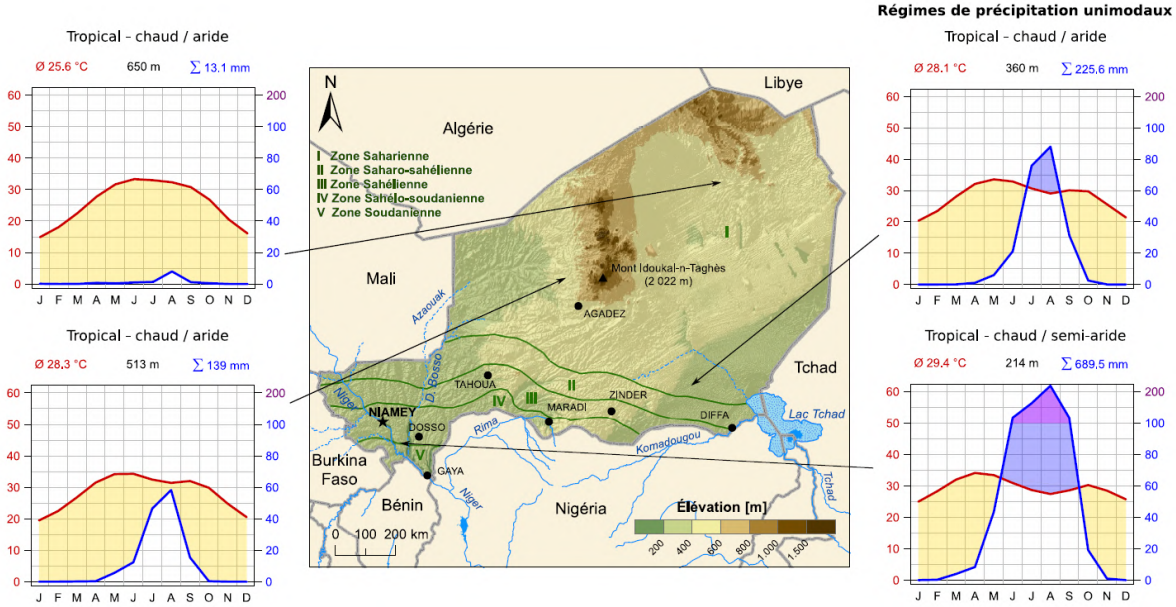


Figure 3 : Carte topographique du Niger et ses zones agro-écologiques.

La majeure partie du Niger est dominée par un climat très chaud et sec. Les précipitations diminuent du sud vers le nord (voir figure 4) et sont liées à la migration de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) et ainsi à la formation de la mousson Ouest-africaine. Les processus atmosphériques et océaniques qui influencent la mousson Ouest-africaine sont complexes et sensibles au forçage externe. Suivant la migration du zénith solaire, la mousson Ouest-africaine se développe vers le mois de mars à la côte Atlantique et apporte les précipitations en direction du nord vers le Niger, faisant atteindre les quantités de précipitations maximales en juillet et en août (Drobinski et al., 2009). La mousson Ouest-africaine est principalement entraînée par le gradient de température entre l'océan et la surface terrestre. Les températures élevées du Sahara pendant l'été boréal produisent une dépression thermique qui dirige l'air humide de l'océan Atlantique vers l'intérieur du pays, dans le Sahel, et conduit ainsi les précipitations dans l'arrière-pays (Herzschuh et al., 2014 ; Minka et Ayo, 2014).

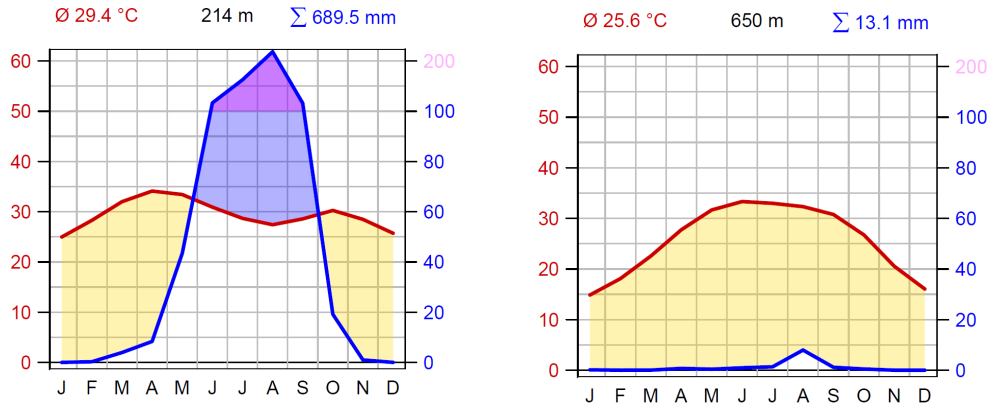


Figure 4 : Deux diagrammes climatiques présentant la répartition annuelle des précipitations et des températures au sud [12,75 ; 2,75] (à gauche) et au nord [21,25 ; 12,25] (à droite).

Ces dernières décennies, les quantités de précipitations au Niger et dans toute la région du Sahel présentent une forte variabilité. Le Sahel a connu notamment une grave sécheresse dans les années 1970 et 1980. Des études ont montré que cette période sèche peut être attribuée indirectement à l'association singulière des aérosols et des gaz à effet de serre qui ont caractérisé la période après la Seconde Guerre mondiale (Giannini et Kaplan, 2019).

À des échéances interannuelles plus courtes, l'intensité de la mousson Ouest-africaine est influencée par différents facteurs. Il s'agit notamment des températures de surface de la mer dans l'océan Atlantique et la Méditerranée, ainsi que des températures au-dessus du Sahara (Chauvin et al., 2010 ; Schewe et Levermann, 2017), des modifications de l'utilisation des sols (Davin et de Noblet-Ducoudre, 2010 ; Kothe et al., 2014) et de l'augmentation de la quantité d'eau douce liée à la fonte de la calotte glaciaire au Groenland (Defrance et al., 2017), avec des impacts marqués sur les moyens de subsistance au Niger. Ces interactions climatiques multidimensionnelles sont sources d'incertitudes pour les projections relatives à l'évolution de la mousson Ouest-africaine.

Trajectoires socio-économiques communes (SSP) et Profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP)



Figure 5 : Les SSP ou trajectoires socio-économiques communes de l'ensemble de scénarios défini par le GIEC (O'Neill et al., 2016).

Les scénarios d'émissions futures utilisés dans ce rapport sont un nouvel ensemble de scénarios d'émissions et d'utilisation des terres basés sur ceux utilisés dans le 6e Rapport du GIEC, dont la publication est prévue en 2021-2022, (en comparaison aux quatre Profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP) utilisés dans le 5e Rapport d'évaluation) : les trajectoires de développement sociétal, les trajectoires socio-économiques communes (O'Neill et al., 2017), liées aux niveaux de forçage des Profils représentatifs d'évolution de concentration (Eyring et al., 2016 ; O'Neill et al., 2016).

Les SSP comprennent cinq alternatives décrivant les tendances socio-économiques dessinant la société à venir (Figure 5). Elles contiennent des indications chiffrées relatives à des éléments cruciaux tels que la population, la croissance économique et l'urbanisation (O'Neill et al., 2016). SSP1 envisage une tendance optimiste quant au développement humain, avec des investissements importants dans la santé, l'éducation, des institutions qui fonctionnent bien, une croissance économique et, en même temps, une transition vers des pratiques durables. SSP3, au contraire, présente une tendance pessimiste, avec un développement caractérisé par des inégalités croissantes et une mise en valeur de la sécurité régionale (O'Neill et al., 2016). Pour traduire les conditions socio-économiques des SSP en trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre possibles, différents modèles d'évaluation intégrée (MEI) ont été employés (Hausfather, 2018). Les modèles d'évaluation intégrée envisagent différentes trajectoires d'émissions pour chaque SSP.

Ces différentes trajectoires d'émissions sont regroupées et représentées par les sept profils représentatifs d'évolution de concentration ou RCP qui définissent un forçage radiatif[1] accompli en 2100. Les RCP sont nommés d'après le niveau de forçage radiatif supplémentaire atteint en 2100 par rapport à l'époque pré-industrielle (+1.9, +2.6, +3.4, +4.5, +6.0, +7.0 et +8.5 W/m2) (van Vuuren et al., 2011a ; Wayne, 2013).

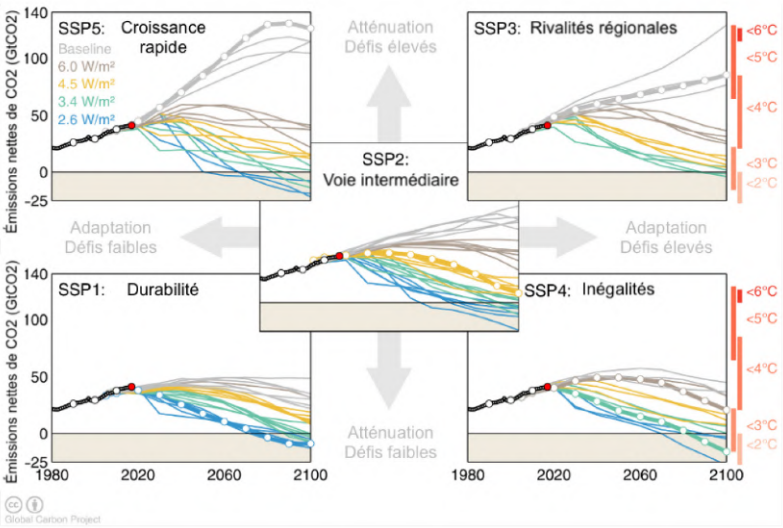


Figure 6 : Émissions globales de CO2 (GtCO2) pour toutes les séquences des modèles d'évaluation intégrée (MEI) dans la base de données SSP. Graphique réalisé par Global Carbon Project.

Afin de montrer une grande amplitude de scénarios socio-économiques et d'émissions futurs possibles, notre étude va se concentrer sur les scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. SSP1-RCP2.6 illustre un avenir durable au cours duquel le réchauffement climatique mondial sera vraisemblablement bien inférieur à 2 °C et donc conforme à l'Accord de Paris. SSP3-RCP7.0 illustre des défis complexes pour l'atténuation et l'adaptation dans un monde sans ou marqué par peu d'interventions politiques vis-à-vis du climat et par une augmentation de jusqu'à 5 °C des températures d'ici à la fin de ce siècle (Hausfather, 2018 ; van Vuuren et al., 2011a). Ces deux scénarios nous montrent une panoplie de climats futurs possibles, les deux trajectoires qui les encadrent restent des scénarios à venir plausibles.

[1] Le forçage radiatif décrit un changement du budget énergétique radiatif du système climatique terrestre en raison de l'imposition d'une perturbation externe. Un forçage positif (plus d'énergie entrante) réchauffe le système, tandis qu'un forçage négatif (plus d'énergie sortante) le refroidit.

1.2 Données et méthode

La base permettant d'évaluer le climat actuel et récemment passé dans cette étude est l'ensemble de données observationnelles climatiques W5E5 (Cucchi et al., 2020 ; Lange et al., 2021), un jeu de données basé sur une association de simulations de modèles météorologiques mondiaux, de données satellites et d'observations in situ. L'ensemble de données recouvre la période de 1979 à 2016, suivant une résolution temporelle quotidienne et un intervalle de quadrillage de l'ensemble du globe de 0,5° x 0,5° (ce qui correspond à environ 55 km x 55 km au Niger). L'ensemble de données W5E5 a été réuni pour assurer une correction de biais des données climatiques sur lesquelles sont fondées les évaluations d'impacts menées en phase 3b de l'Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project (ISIMIP3b ; (Lange, 2019a, Lange et Büchner, 2021)) qu'utilise aussi beaucoup ce rapport.

Les données des projections climatiques simulées par des modèles climatiques mondiaux (MCM) proviennent du projet ISIMIP3b. Les simulations historiques couvrent les années 1850-2014, et les projections à venir (en vertu des deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre) couvrent les années 2015-2100. W5E5 est le jeu de données observationnelles de référence utilisé pour la correction de biais et la mise à échelle statistique du ISIMIP3b. Les modèles climatiques mondiaux[2] compris dans l'ISIMIP3b sont : CanESM5 (ou : Can), CNRM-ESM2-1 (ou : CNES), CNRM-CM6-1 (ou : CNCM), EC-Earth3 (ou : EC), GFDL-ESM4 (ou : GFDL), IPSL-CM6A-LR (ou : IPSL), MIROC6 (ou : MIROC), MPI-ESM1-2-HR (ou : MPI), MRI-ESM2-0 (ou : MRI), et UKESM1-0-LL (ou : UKE) (Lange, 2019a, Lange et Büchner, 2021).

Les indicateurs analysés dans cette étude sont : la moyenne annuelle de la température moyenne de l'air, le nombre de journées très chaudes par an (température maximum dépassant 35 °C), le nombre de nuits très chaudes ou tropicales par an (température minimum dépassant 25 °C), la quantité annuelle moyenne des précipitations, l'intensité et la fréquence des fortes précipitations et le début de la saison des pluies.

L'indicateur de l'**intensité des fortes précipitations** est la quantité de précipitations maximum en une journée sur un an. L'indicateur de la fréquence des fortes précipitations est le nombre de jours dépassant un certain seuil. Ce seuil est défini au 95^{e} centile de jours présentant des précipitations (>0,1 mm) au cours de la période de référence 1995-2014 pour chaque cellule de la grille.

Le **début de la saison des pluies** a été obtenu en se basant sur une définition adaptée de Laux et al. (2008) et de Stern et al. (1981), conçue pour l'Afrique occidentale et convenant aux régions du sud du Niger, alors qu'au nord, les précipitations sont trop faibles pour identifier une saison des pluies. Le début de la saison des pluies est donc considéré comme étant le premier jour de l'année réunissant toutes les conditions suivantes :

(1) au moins 20 mm de précipitations en 5 jours,
(2) le jour du commencement et au moins deux autres jours de cette période de 5 jours sont humides (≥ 0,1 mm de précipitations),
(3) pas de période sèche de sept jours consécutifs ou plus au cours des 30 jours suivants (30 jours après le premier jour).

Les modèles climatiques mondiaux ne peuvent représenter à la perfection le climat actuel et futur. Ils présentent naturellement des projections légèrement différentes, même s'ils sont fondés sur le même scénario d'émissions. Une validation détaillée des dix modèles climatiques mondiaux a montré que les médianes de l'ensemble multi-modèles (MMEM) se rapprochent le plus des observations réalisées en Afrique occidentale. Les différentes projections de chaque modèle individuel montrent le degré d'incertitude, et les médianes de l'ensemble multi-modèles offrent une estimation prudente des changements climatiques possibles. De ce fait, les MMEM sont présentées outre les résultats du modèle individuel. Dans le rapport, les projections du changement climatique sont basées sur des moyennes de 20 années[3], ce qui signifie que la température annuelle moyenne par ex. en 2030 est calculée comme une moyenne des températures comprises entre 2021 et 2040. Le climat de référence, utilisé comme situation de départ dans cette étude, renvoie au climat en 2004 (1995-2014), cette période étant inclue dans les simulations historiques du ISIMIP3b. Les données des projections climatiques sont évaluées pour les

[2] Un encadré informatif sur les modèles climatiques peut être consulté dans les ressources supplémentaires.

[3] Les variables climatiques (comme la température et les précipitations) présentent une forte variabilité annuelle. Afin d'analyser les changements climatiques à long terme au lieu des variabilités annuelles, les moyennes des variables climatiques sur 20-40 années sont comparées les unes aux autres.

périodes 2030 (2021-2040), 2050 (2041-2060) et 2090 (2081-2099). Les mentions concernant les changements à l'avenir reposent sur les calculs effectués pour chacune de ces trois périodes en comparaison à la situation de départ de 2004 (1995-2014) pour chaque modèle et scénario. Pour l'analyse des ensembles de données observationnelles, le climat actuel a été obtenu en établissant une moyenne sur les années disponibles les plus récentes de 1997-2016.

1.3 Conditions climatiques actuelles

Le Niger connaît actuellement des températures annuelles moyennes situées entre 23 et 30 °C, les valeurs les plus élevées étant au sud du pays et les valeurs beaucoup plus basses étant relevées dans les régions montagneuses (Figure 7). Dans le sud du Niger, les différences de températures intersaisonnières sont faibles, mais au nord, les températures mensuelles moyennes varient de 15 à 35 °C. Le nombre de nuits tropicales par an va de 0 à 180 jours avec des valeurs plus élevées à l'ouest. Le nombre de journées très chaudes est élevé, avec près de 200 jours par an dans presque toutes les parties du pays, sauf dans les régions de haute altitude et l'extrême nord.

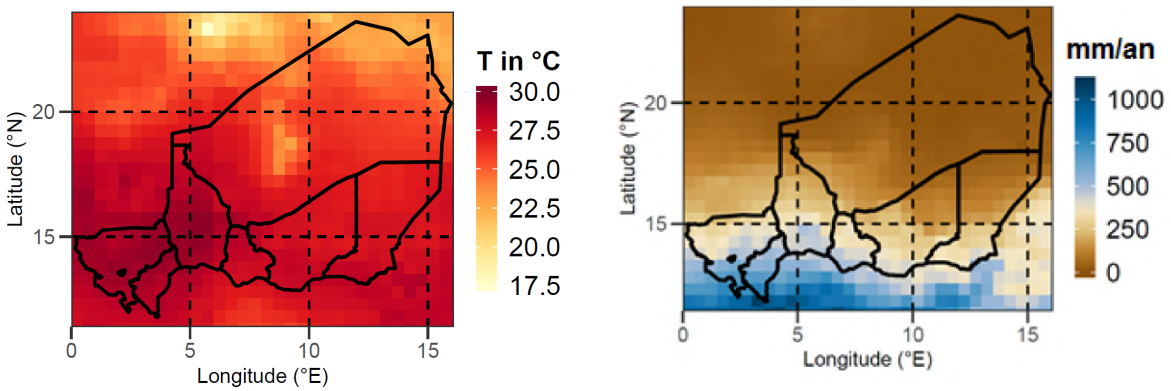


Figure 7 : Températures annuelles moyennes en °C (à gauche) et précipitations annuelles moyennes en mm (à droite) au Niger de 1997 à 2016.

La moyenne des quantités de précipitations annuelles s'élève à entre 10 et 800 mm par an, avec des précipitations très rares au nord de 15 °N. La saison des pluies se situe entre mai et octobre, avec une période beaucoup plus courte au nord et un pic habituel en août. La saison des pluies commence mi-juin au sud-ouest et début août au centre du Niger (Figure 8). Plus au nord, les précipitations sont trop faibles pour identifier une saison des pluies.

Le début de la saison des pluies, sa durée et les quantités de précipitations présentent une forte variabilité interannuelle dans toutes les parties du Niger avec une variabilité croissante vers le nord.

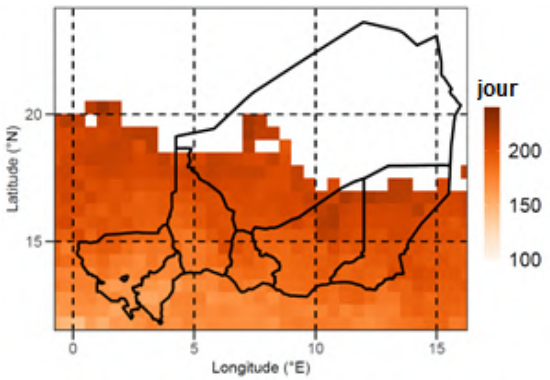


Figure 8 : Le jour de l'année marquant le début de la saison des pluies établi en moyenne pour les années 1997-2016. Les zones blanches indiquent des précipitations très rares.

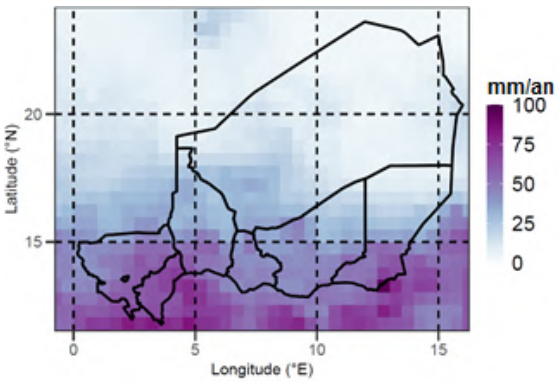


Figure 9 : Moyenne annuelle des précipitations maximales par jour sur la période de 1997-2016.

Les fermiers nigériens expriment leurs préoccupations au sujet des faibles précipitations, des vagues de sécheresse ou du début tardif de la saison des pluies, mais les inondations dues aux événements de fortes précipitations provoquent parfois de mauvaises récoltes et une aggravation de l'érosion des sols.

Les moyennes des quantités de précipitations maximales par jour sur la période de 1997 à 2016 se situent entre 22 et 75 mm (Figure 9), des valeurs extrêmes donc bien plus faibles que celles d'autres pays d'Afrique de l'Ouest. Toutefois, la longue période de sécheresse et le durcissement des sols en résultant peuvent provoquer de forts dommages en cas d'événements de précipitations extrêmes.

1.4 Changement climatique et variabilité dans le passé et l'avenir proche

Températures

Au cours du passé récent, la température annuelle moyenne a connu une forte augmentation au Niger (Figure 10). De manière constante, le nombre de jours très chauds et de nuits tropicales a également augmenté.

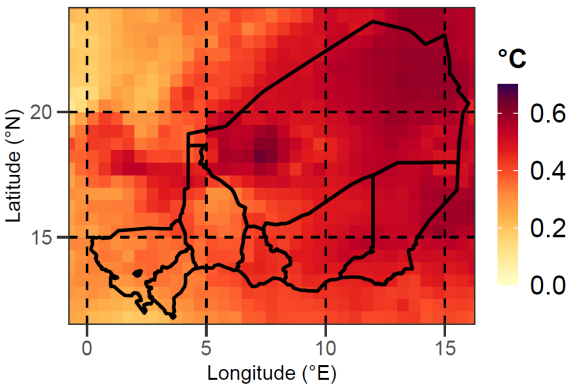


Figure 10 : Écarts entre les températures annuelles moyennes en °C au Niger de 1988 à 2006.

Les modèles climatiques projettent une forte tendance à l'augmentation des températures au Niger au cours du 21e siècle. Cela apparaît clairement dans les deux scénarios analysés, quoiqu'à différents degrés. La médiane de l'ensemble multi-modèles (MMEM) montre une augmentation moyenne des températures annuelles moyennes au Niger de 0,9 °C (2030), 1,3 °C (2050) à 1,3 °C (2090) en vertu de SSP1-RCP2.6 (scénario de réduction des émissions) et de 0,9 °C (2030), 1,9 °C (2050) à 4,2 °C (2090) en vertu de SSP3-RCP7.0 (scénario d'émissions élevées) par rapport à 2004 (Figure 11). En vertu du scénario de réduction des émissions, les températures n'augmentent pas fortement après 2050, suite à la stabilisation des émissions de GES avant le milieu du siècle. Si l'on tient compte de l'augmentation des températures avant 2004 (GIEC, 2014), l'augmentation des températures dépasserait largement l'objectif de 1,5 °C d'ici à 2050 pour la majorité des modèles, même en vertu du scénario de réduction des émissions.

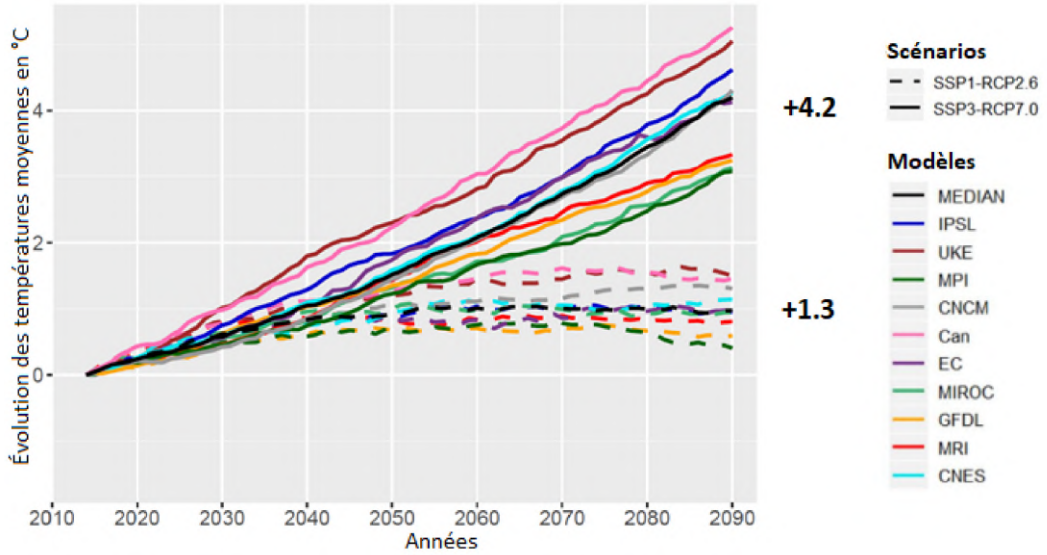


Figure 11 : La moyenne mobile sur 21 ans du changement des températures moyennes prévues comparées à 2014 en °C. Les valeurs sont des moyennes concernant le Niger. Chaque ligne colorée correspond aux projections de l'un des dix modèles individuels. La ligne noire représente la médiane de l'ensemble multi-modèles.

Les projections de températures présentent un degré de confiance très élevé (tous les modèles montrent la même tendance) comme on peut le voir à la figure 11. Même si les modèles présentent différentes fourchettes d'augmentation des températures, ils indiquent tous une augmentation continue jusqu'en 2090 en vertu du scénario d'émissions élevées. Le choix des dix modèles climatiques mondiaux présente un biais pour les modèles prévoyant de fortes augmentations de températures. De ce fait, la fourchette de probabilité des températures futures au Niger pourrait être légèrement inférieure aux valeurs indiquées (comparer au chapitre 11 sur les incertitudes).

Les températures extrêmes limiteraient la croissance des cultures ou même entraîneraient leur perte, selon le type de culture, de cultivars et le stade de développement phénologique. Logiquement, avec l'augmentation récente des températures, le nombre de températures extrêmes, comme les journées très chaudes et les nuits tropicales, a également augmenté.

À l'avenir, le nombre de journées très chaudes et de nuits tropicales augmente dans toutes les parties du pays en vertu des deux scénarios d'émissions. En raison du climat plus saisonnier au nord, le sud subit des augmentations encore plus fortes. En moyenne, les modèles projettent 276 journées très chaudes (Figure 12) et 212 nuits tropicales (Figure 13) par an au Niger d'ici à la fin du siècle en vertu du scénario d'émissions élevées. Les parties sud du pays connaissent actuellement et connaîtront à l'avenir davantage de journées très chaudes et de nuits tropicales. En raison d'une augmentation du caractère saisonnier des températures vers le nord, la partie nord du pays subit les extrêmes surtout durant l'été boréal.

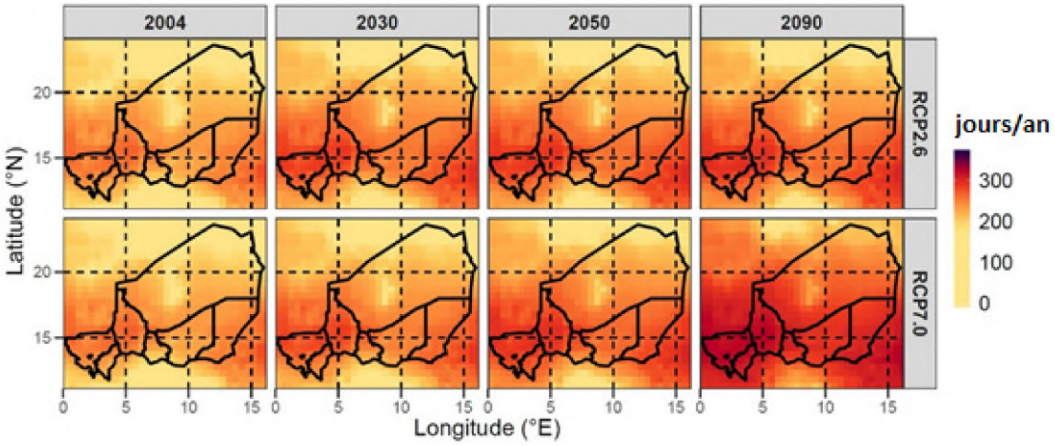


Figure 12 : Simulation et projection du nombre de journées très chaudes par an, pour les moyennes calculées sur la période de 20 ans (2004, 2030, 2050, 2090) en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0.

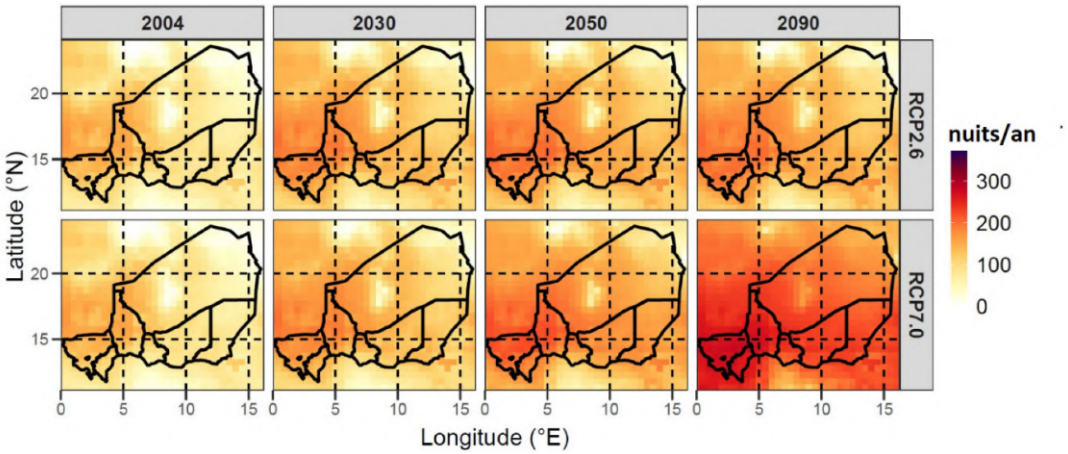


Figure 13 : Simulation et projection du nombre de nuits tropicales par an, pour les moyennes calculées sur la période de 20 ans (2004, 2030, 2050, 2090) en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0.

Précipitations

Le Niger a subi des décennies de sécheresse dans les années 1970 et 1980. La quantité des précipitations annuelles moyenne s'est partiellement améliorée depuis, mais n'a jusqu'à présent pas retrouvé ses valeurs antérieures aux années 1970. Les précipitations annuelles ont augmenté dans le passé récent dans presque toutes les parties du Niger (Figure 14). Dans la partie sud du Niger, les précipitations ont même augmenté de plusieurs douzaines de pour cent.

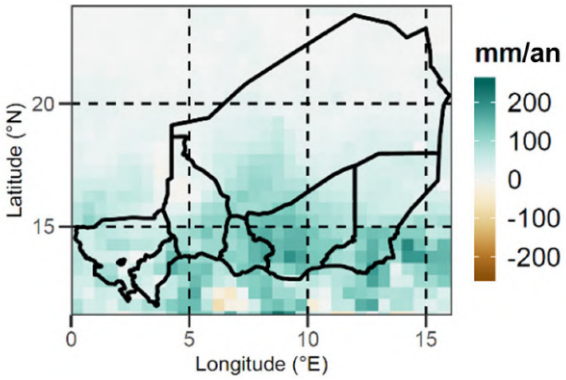


Figure 14 : Différences entre les précipitations annuelles moyennes en mm au Niger de 1988 à 2006.

Dans le prolongement de cette tendance, la médiane de l'ensemble multi-modèles prévoit des augmentations de la quantité des précipitations annuelles dans tout le pays en vertu des deux scénarios d'émissions d'ici à 2050. En vertu du scénario de réduction des émissions, de légères augmentations seulement sont prévues pour les prochaines décennies, et après 2050, les quantités de précipitations devraient légèrement baisser. Une augmentation continue des quantités de précipitations est prévue en vertu du scénario d'émissions élevées (Figures 15 et 16). La variabilité interannuelle des précipitations annuelles présente de légères tendances à la baisse durant la première moitié du siècle, toutefois, ces résultats sont très incertains. Pour la fin du siècle, les projections indiquent une claire augmentation de la variabilité. Ces résultats sont soutenus par un fort consensus entre les modèles.

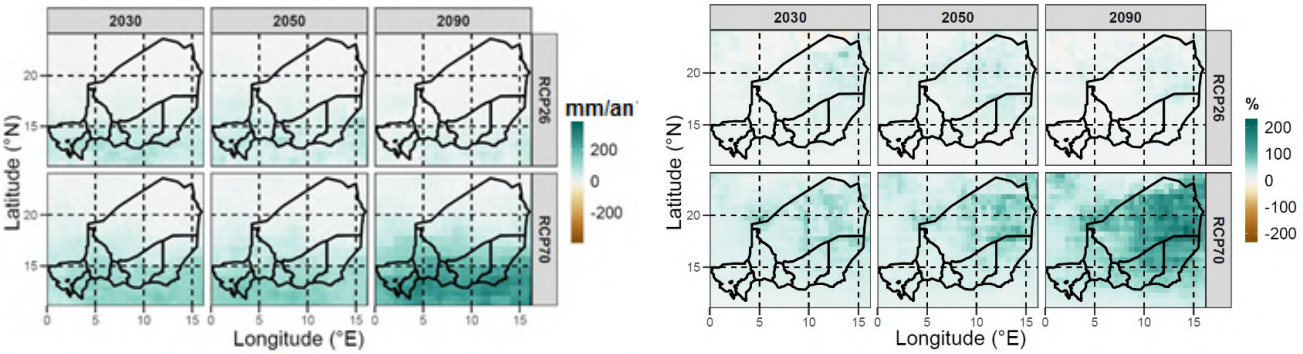


Figure 15 : Projection du changement de la quantité moyenne des précipitations en mm/an (gauche) et en pourcentage (droite) pour les moyennes des périodes 2030, 2050 et 2090, par rapport à 2004 (1995-2014) en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0.

En règle générale, la confiance est bien moindre en ce qui concerne les projections au niveau des changements de précipitations que des températures, car tous les modèles ne s'accordent pas sur la tendance positive des précipitations (Figure 16).

Des études récentes ont montré un renforcement de la mousson Ouest-africaine à l'avenir ainsi qu'un déplacement vers l'ouest des régimes actuels de précipitations en vertu du réchauffement climatique global[4] (Aschenbrenner, 2018 ; Roehrig et al., 2013 ; Schewe et Levermann, 2017). Toutefois, même si la majorité des modèles analysés indiquent un climat plus humide au Niger, on ne peut pas exclure que le pays pourrait connaître un climat plus sec à l'avenir, comme certains modèles le suggèrent en vertu des deux scénarios. Defrance et al. (2017) concluent que la poursuite de la fonte rapide de la calotte glaciaire au Groenland pourrait entraîner l'affaiblissement soudain de la mousson Ouest-africaine[5] et donc une baisse des quantités de précipitations annuelles au Sahel.

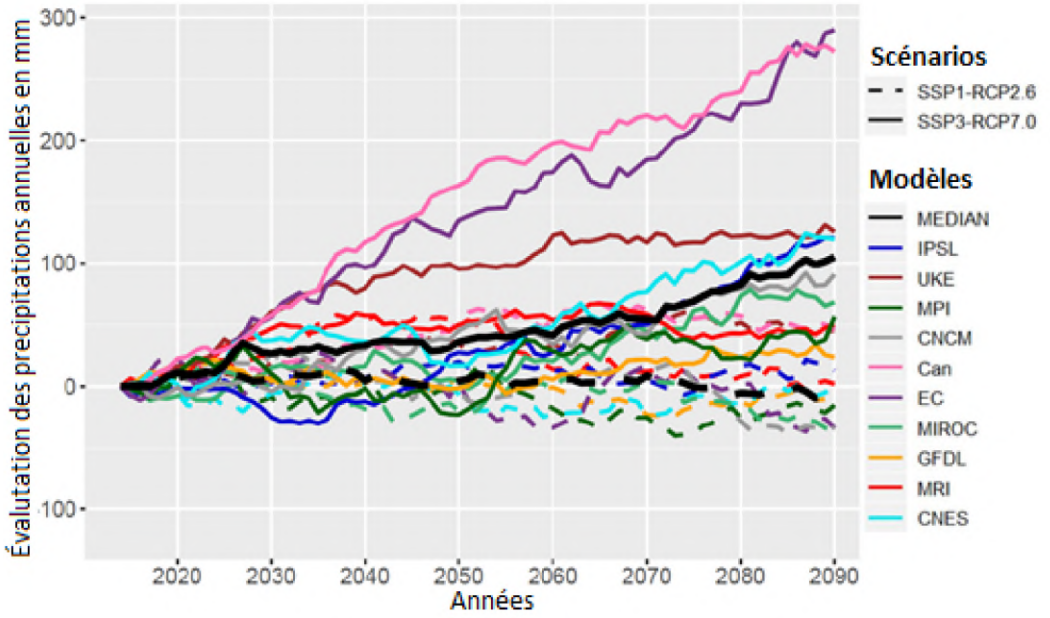


Figure 16 : La moyenne mobile sur 21 ans de la projection du changement des précipitations annuelles comparées à 2014 en mm. Les valeurs sont des moyennes concernant le Niger. Chaque ligne colorée correspond à la projection de l'un des modèles. La ligne noire représente la médiane de l'ensemble multi-modèles.

4 Principalement pour deux raisons : 1. l'augmentation de la température de surface de la mer sur les régions sources d'humidité accroît la disponibilité en eau de la mousson Ouest-africaine ; 2. la température des terres augmente plus vite que celle au-dessus des océans. Cela accroît le gradient de température entre le Sahara et l'océan Atlantique, source d'énergie de la mousson Ouest-africaine.

5 Des apports d'eau douce importants (équivalents à une augmentation du niveau de la mer de 3 m environ) dus à la fonte de la calotte glaciaire au Groenland peuvent entraîner une cascade complexe de changements des circulations océaniques dans les régions où la température de la surface de la mer influence fortement la mousson Ouest-africaine.

Fortes précipitations

L'intensité ainsi que la fréquence des fortes précipitations ont augmenté ces dernières décennies dans presque toutes les parties du pays (Figure 17).

En outre, les projections concernant l'intensité et la fréquence des fortes précipitations annoncent une augmentation dans toutes les parties du pays avec des tendances similaires pour les projections relatives à l'augmentation des quantités de précipitations annuelles moyennes (Figure 18). En vertu du scénario d'émissions élevées, tous les modèles s'accordent sur une tendance à l'augmentation de l'intensité des précipitations fortes. Cela s'applique aussi aux modèles projetant seulement de légères modifications au niveau des quantités de précipitations annuelles moyennes. En vertu du scénario de réduction des émissions, les modèles ne prévoient aucun voire peu de changements au niveau de l'intensité des précipitations fortes d'ici à la fin du siècle.

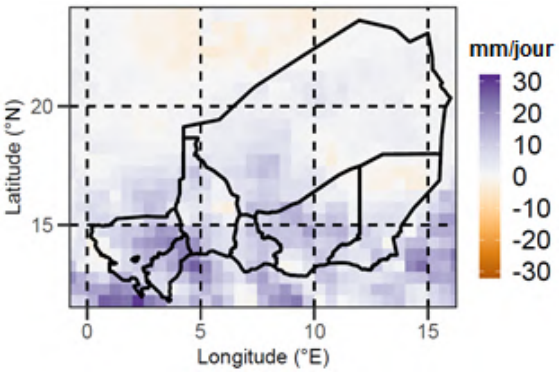


Figure 17 : Modification des précipitations journalières maximales annuelles de 1988 à 2006.

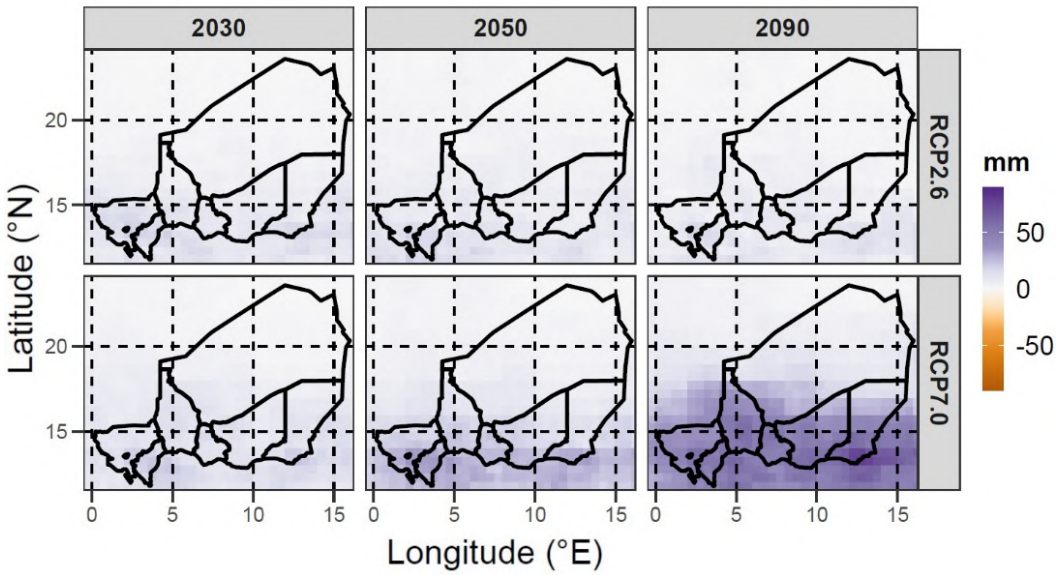


Figure 18 : Projection du changement de la quantité de précipitations journalières maximales annuelles en 2030, en 2050 et en 2090, par rapport à 2004 (1995-2014) en vertu de SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et de SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure).

Début de la saison des pluies

Ces dernières décennies, le début de la saison des pluies et sa durée ont présenté une forte variabilité, mais pas de tendance claire vers une direction particulière. Pour l'avenir, les modèles climatiques ont tendance à prévoir un début antérieur de la saison des pluies en vertu des deux scénarios d'émissions jusqu'en 2030. Par la suite, les tendances divergent avec des projections d'un début ultérieur en vertu de SSP1-RCP2.6 et d'un début antérieur en vertu de SSP3-RCP7.0 comprenant des différences régionales (Figure 19). Ces résultats présentent de fortes incertitudes en raison des écarts entre les projections des modèles individuels, en particulier en vertu de SSP3-RCP7.0 (Figure 20).

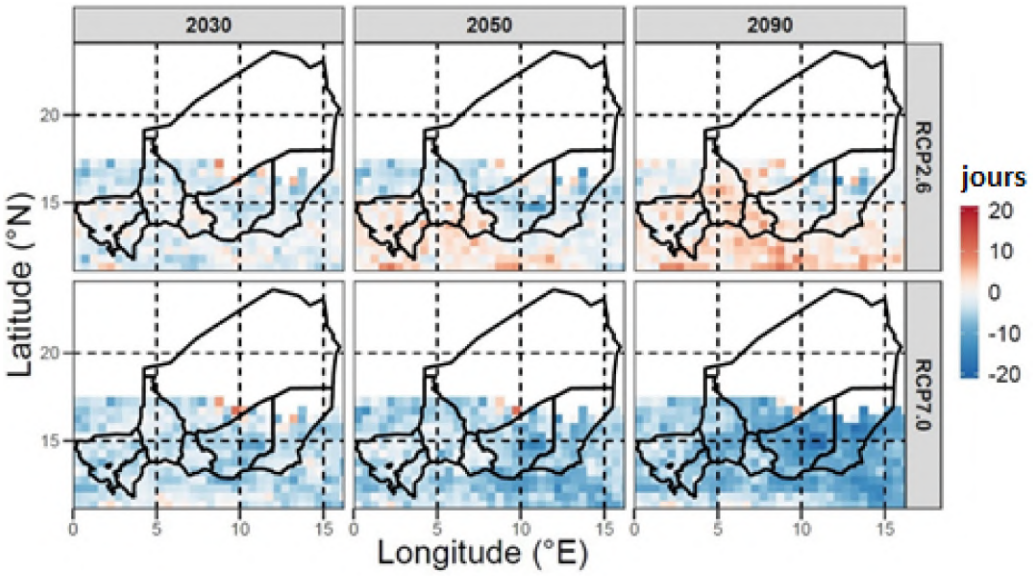


Figure 19 : Projection du changement concernant le début de la saison des pluies en jours en 2030, en 2050 et en 2090, par rapport à 2004 (1995-2014) en vertu de SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et de SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure). La couleur rouge indique un début des pluies ultérieur ; la couleur bleue, un début des pluies antérieur. Les zones blanches indiquent la présence de trop faibles précipitations pour détecter avec fiabilité une saison des pluies.

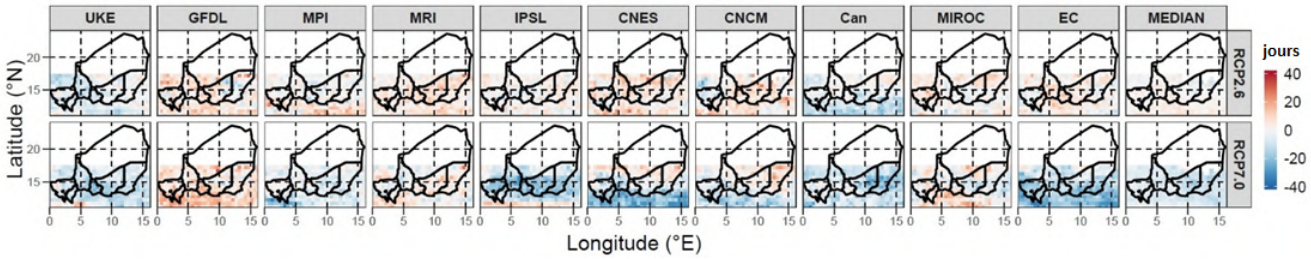


Figure 20 : Projection du changement concernant le début de la saison des pluies en jours en 2090 (2081-2100), par rapport à 2004 (1995-2014) en vertu de SSP1-RCP2.6 (rangée supérieure) et de SSP3-RCP7.0 (rangée inférieure) pour chacun des dix modèles et la médiane de l'ensemble multi-modèles. La couleur rouge indique un début des pluies ultérieur ; la couleur bleue, un début des pluies antérieur. Les zones blanches indiquent la présence de trop faibles précipitations pour détecter avec fiabilité une saison des pluies.

Résumé du chapitre 1

Outre sa variabilité naturelle, le climat du Niger a montré une tendance claire au changement. Les projections pour l'avenir indiquent principalement une poursuite des tendances actuelles. Dans le cas d'émissions de GES plus élevées à l'avenir, les projections indiquent des changements climatiques plus forts et une plus grande ampleur des conditions climatiques possibles à l'avenir.

Les projections concernant les températures moyennes et les températures extrêmes indiquent une tendance claire à l'augmentation continue. Même si les projections liées aux précipitations sont soumises à quelques incertitudes, les modèles s'accordent bien sur la projection de l'augmentation des précipitations annuelles et des précipitations extrêmes au Niger. En vertu du scénario de réduction des émissions, le climat devrait se stabiliser après 2050, alors que les tendances au changement devraient se poursuivre en vertu du scénario d'émissions élevées pendant la seconde moitié de ce siècle. Le tableau 1 récapitulatif ci-dessous présente les tendances climatiques passées observées et les tendances prévues à l'avenir de différents variables climatiques.

Tableau 1 : Aperçu du changement des conditions climatiques au Niger.

Impacts climatiques		Tendance passée	Tendance future	Confiance[6]
	**Températures annuelles moyennes**	Augmentation ↗	Augmentation ↗	Très forte
	**Journées très chaudes & nuits tropicales**	Augmentation ↗	Augmentation ↗	Très forte
	**Intensité & fréquence des fortes précipitations**	Pas de tendance	SSP3-RCP7.0 : Augmentation SSP1-RCP2.6 : Pas de tendance	Très forte Moyenne
	**Précipitations annuelles moyennes**	Augmentation ↗	SSP3-RCP7.0 : Augmentation SSP1-RCP2.6 : Augmentation	Très forte Moyenne
	**Début de la saison des pluies**	Pas de tendance	SSP3-RCP7.0 : Début antérieur SSP1-RCP2.6 : Pas de tendance claire	Moyenne Faible
	**Variabilité interannuelle des quantités de précipitations annuelles**	Augmentation ↗	Baisse légère ↘	Faible

6 Le niveau de confiance concernant les projections climatiques futures est déterminé par le pourcentage de modèles s'accordant sur la tendance (comparer avec GIEC, 2014). >= 90% : très élevé ; >= 80% : élevé ; >= 50% : moyen ; <=50% : faible.



Chapitre 2 – Changements hydrologiques

Au Niger, le secteur agricole joue un rôle vital dans l'économie du pays et les moyens de subsistance de ses habitants. Cependant, en raison du climat aride, les ressources en eau et les précipitations sont souvent rares et représentent l'un des plus grands obstacles à la production agricole. Ce chapitre examine donc les modifications hydrologiques au Niger en recourant à une modélisation hydrologique semi-répartie fondée sur les Profils représentatifs d'évolution de concentration des GES et les résultats des modèles climatiques mondiaux présentés au chapitre 1. Les variations prévues au niveau des paramètres hydrologiques vitaux et pertinents pour l'approvisionnement en eau pour l'agriculture et les communes font donc l'objet d'une étude englobant les stratégies d'adaptation possibles, dans une approche considérant les scénarios d'émissions.

2.1 Brève présentation de la situation hydrologique au Niger

Pays en grande partie désertique, le Niger présente un climat aride et des précipitations rares et très variables (10-800 mm/an). La saison des pluies entre juin et septembre au sud (avec de rares précipitations au nord) entraîne un fort régime de ruissellement saisonnier et intermittent (Mahé, 2006). L'axe fluvial principal du pays est le fleuve Niger, au sud-ouest, qui poursuit son chemin au Nigeria et se déverse ensuite dans le Golfe de Guinée. Son bassin physiologique couvre environ 50% du territoire nigérien, mais il est en grande partie inactif au point de vue hydrologique (Figure 21). L'est du pays est dominé par le désert du Sahara, en grande partie inhabité, et par le bassin endoréique du lac Tchad.

En raison de sa population essentiellement rurale et dépendante de l'agriculture (78%) ainsi que de son climat aride, le Niger est considéré comme un pays déficitaire en eau, et l'irrigation représente plus de 85% de la demande hydrique. Les 15% restants proviennent de l'utilisation de l'eau par les communes et les industries concentrées dans la région de la capitale, Niamey. Les eaux souterraines sont, à plus de 90%, la plus importante source d'eau potable (Pavelic et al., 2012). Bien que le volume d'eau total capté dans le pays ne représente qu'une petite partie de la recharge des eaux souterraines annuelle estimée à 1,5% env. (Martin et van de Giesen, 2005), la répartition spatiale et la profondeur des nappes phréatiques varient beaucoup et sont influencées par les régimes de précipitations et les captages effectués localement. La propension du pays à la sécheresse a donné naissance à la construction de petits systèmes d'irrigation mécanisés, en particulier le long du fleuve Niger et de la frontière sud avec le Nigeria. L'agriculture pluviale reste encore prédominante dans le reste du pays. Comme les précipitations se traduisent habituellement par des événements forts et brefs et que l'évapotranspiration équivaut à environ 80-95% des précipitations annuelles, le croûtage du sol est un problème fréquent. Les dépôts de sel entraînent le compactage du sol, qui devient hermétique, ce qui favorise le ruissellement superficiel et limite les taux d'infiltration (Descroix et al., 2009 ; Descroix et al., 2012).

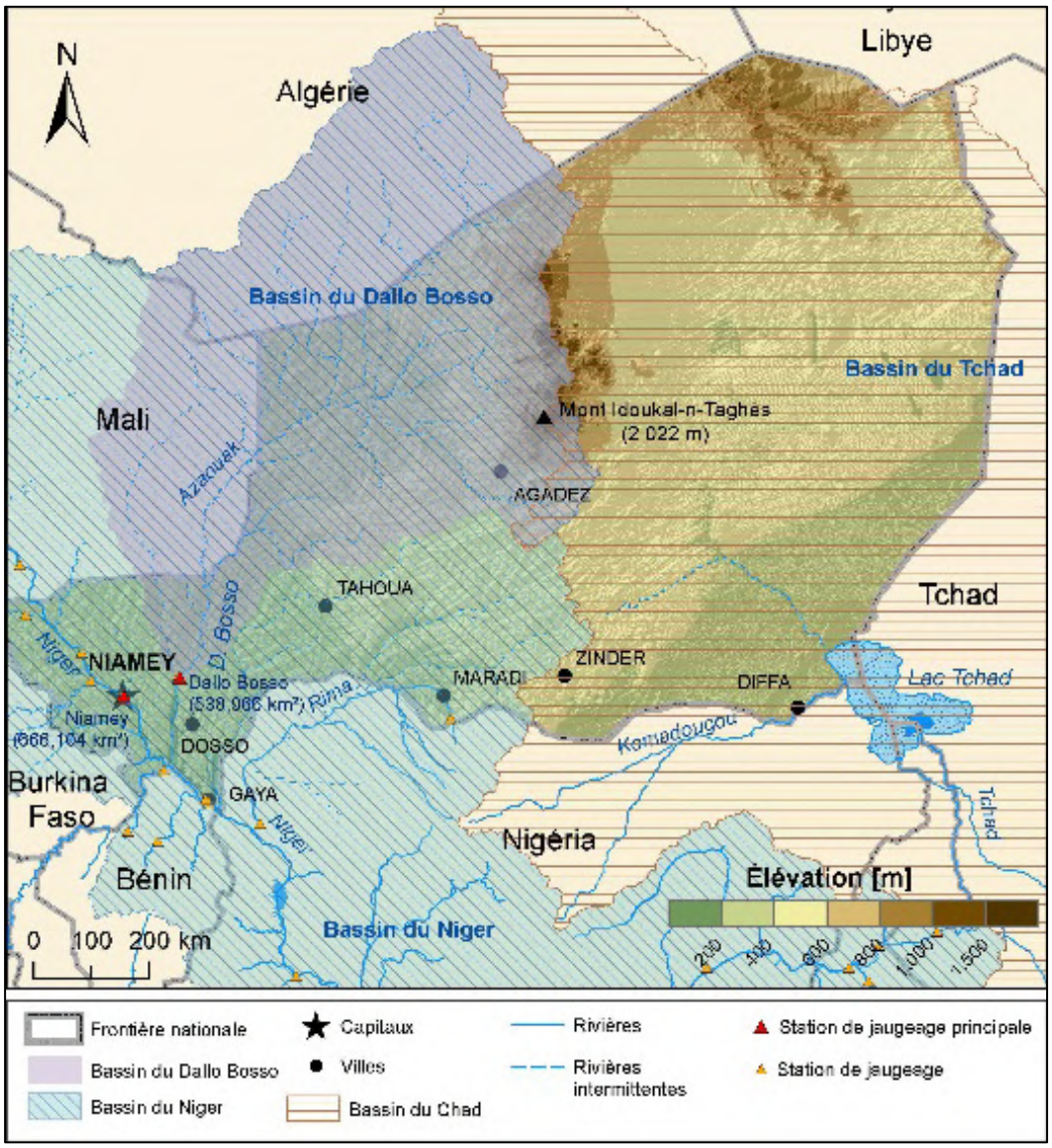


Figure 21 : Carte du Niger indiquant les limites du bassin du fleuve Niger. Les plus grands fleuves et rivières et leurs stations hydrométriques sont marqués.

2.2 Données et méthode

Dans le cadre de cette étude, les projections hydrologiques soumises au changement climatique sont essentiellement basées sur les résultats du modèle éco-hydrologique intégré Soil and Water (SWIM, (Krysanova et al., 2015)) fondé sur les scénarios d'émissions et les résultats des modèles climatiques mondiaux présentés au chapitre 1, à savoir un ensemble de dix modèles climatiques mondiaux du projet ISIMIP3b. Le modèle SWIM est utilisé pour simuler les processus hydrologiques dans le bassin du Niger (fleuve Niger). Ce bassin recouvre près de 50% du pays (le désert restant à l'est n'est pas couvert par le modèle). Les modifications annuelles relatives et absolues du débit fluvial en différents endroits sont fournies ainsi que les modifications mensuelles moyennes au cours des trois périodes suivantes à venir : 2021-2040, 2041-2060 et 2080-2099. Les modifications à venir sont les écarts par rapport à la situation de départ de 1995-2014. Différentes données d'entrée servent à configurer et à étalonner le modèle : le modèle numérique de terrain à la résolution de 90 m du Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) permet de délimiter les sous-bassins. Les paramètres des sols sont issus de la base de données harmonisée et mondiale des sols (HWSD v1.0) et les données sur l'utilisation des terres et la couverture terrestre proviennent de la carte du projet Global Land Cover (GLC2000). Le modèle hydrologique est étalonné et validé d'après les données de débit quotidiennes obtenues aux limnigraphes dans tout le bassin durant la période allant de 1960–2010 en fonction de la disponibilité des données de chaque station. Les observations sont fournies par le Global Runoff Data Centre (GRDC). Les principaux réservoirs ainsi que les prélèvements d'eau sont pris en compte dans les simulations, en se basant surtout sur des suppositions car des données détaillées ne sont pas disponibles. L'utilisation des terres et la couverture terrestre sont quant à elles considérées comme constantes, sans changement pour les périodes à l'avenir.

2.3 Changements passés

Dans le passé, les changements hydrologiques au Niger et en Afrique occidentale dans son ensemble sont dominés par une variabilité interannuelle et décennale. Il est communément admis que les années 1950 et 1960 furent des périodes principalement humides, suivies par une sécheresse marquante et dévastatrice dans les années 1970 et 1980 (Conway et al., 2009 ; Descroix et al., 2012 ; Mahé et al., 2013). Depuis, les quantités de précipitations et, par conséquent, les débits fluviaux, ont retrouvé des conditions moyennes à long terme avec une tendance à la hausse depuis la fin des années 1990. Pour le Niger, cette évolution est visible dans les données de débit à long terme disponibles concernant le fleuve Niger à la figure 22. Le régime du fleuve Niger s'est modifié radicalement avec un pic de crue plus court et plus bas (Figure 23). L'écoulement est particulièrement sensible aux variations des précipitations en raison des conditions arides à semi-arides de la région. Par exemple, Mahé et Olivry (1999) ont découvert qu'une baisse de 15-20% des valeurs des précipitations entraîne des baisses disproportionnées de débit pouvant aller jusqu'à 60%.

Outre les changements climatiques déjà abordés au chapitre 1, les changements concernant les ressources en eaux de surface et souterraines sont également fortement influencés par des modifications au niveau de l'utilisation des terres et de la gestion de l'eau. Ces deux facteurs ont changé de façon drastique au Niger depuis la seconde moitié du 20^{e} siècle (Mahe et al., 2005). Une croissance démographique constante a conduit à la transformation extensive de la végétation naturelle (brousse et fruticée) en terres cultivées dans le sud du pays, favorisant des taux plus élevés de ruissellement et des taux d'infiltration permettant de recharger les eaux souterraines amoindris. La perte de végétation permanente et le compactage du sol entraînent l'affaiblissement de la capacité d'infiltration. Le compactage du sol est dû à la transformation de la végétation naturelle en surfaces cultivées, car la culture des terres conduit à un compactage plus important que la végétation naturelle. Aussi, le prélèvement des eaux souterraines s'est mécanisé, avec des taux de captage en hausse en raison de la construction d'un grand nombre de puits profonds et de la capacité de pompage (Pavelic et al., 2012).

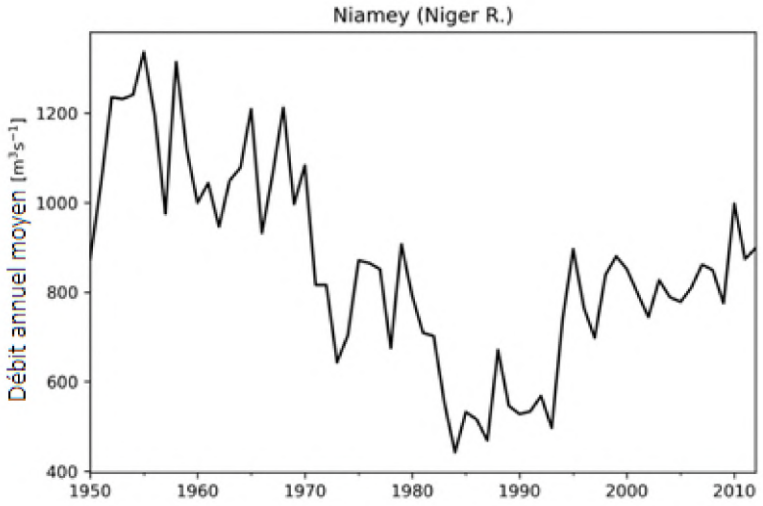


Figure 22 : Observation à long terme du débit du fleuve Niger à Niamey.

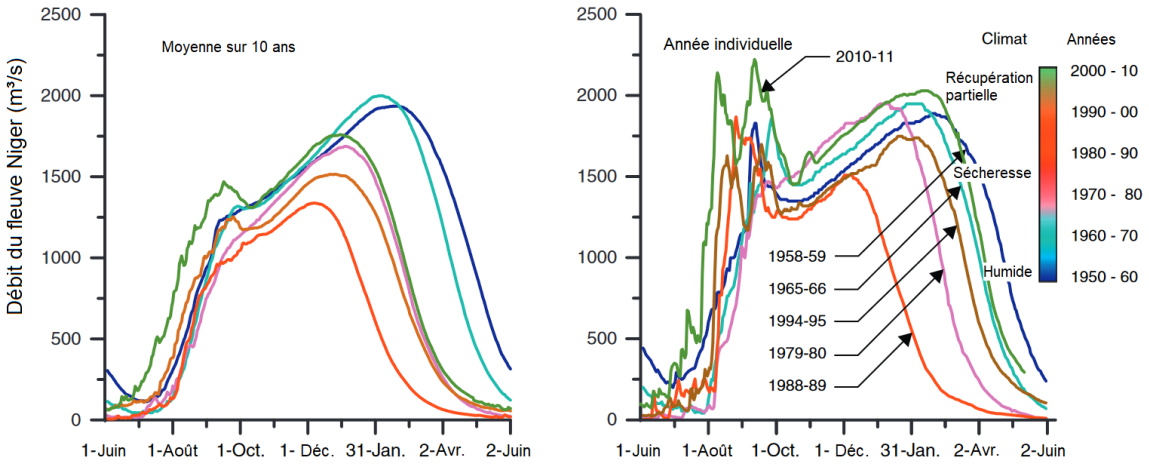


Figure 23 : Variations du régime du débit du fleuve Niger à Niamey, 1950-2010 (Descroix et al., 2012).

2.4 Changements hydrologiques dans le cadre du changement climatique au 21e siècle

2.4.1 Débit fluvial

Conformément à la hausse des quantités de précipitations (chapitre 1, partie 1.4), le débit fluvial devrait également connaître une augmentation de sa moyenne annuelle, mais pas en vertu de tous les scénarios ni de tous les modèles climatiques mondiaux (Figure 24). Le plus grand fleuve du pays devrait connaître un débit annuel plus important de 8% (12%) dans l'avenir proche (2021-2040) dans la médiane de l'ensemble en vertu du scénario de réduction des émissions (scénario d'émissions élevées) par rapport à la période de référence (1995-2014). Vers le milieu du siècle (2041-2060), les deux scénarios projettent encore des augmentations de 25% (9%) qui finiront par chuter à nouveau à -3% (0,5%) en 2080-2099. Cette même évolution est également attendue pour le bassin versant bien plus petit et sec de Dallol Bosso, un cours d'eau éphémère sur la rive gauche du fleuve Niger dont il est tributaire, et qui arrose le centre du pays. Les hausses de la médiane de l'ensemble sont plus importantes, de 30 à 45% en vertu du scénario SSP1-RCP2.6 et de jusqu'à 145% (fin du siècle) en vertu du scénario SSP3-RCP7.0, la divergence la plus grande étant à la fin du siècle. Les bassins arides sont sensibles aux fortes augmentations de précipitations, de vastes zones étant souvent dépourvues de ruissellement. Des précipitations bien plus accrues peuvent donc entraîner une infiltration plus importante et un ruissellement excessif, les zones habituellement faibles en ruissellement ou inactives au niveau hydrologique contribuant à nouveau au ruissellement. Les intervalles fournis par l'ensemble sont cependant vastes, ce qui montre la grande variabilité entre les modèles climatiques mondiaux. En particulier en vertu du scénario de réduction des émissions, les intervalles interquartiles présentent des directions opposées de changement pour le fleuve Niger à la fin du siècle.

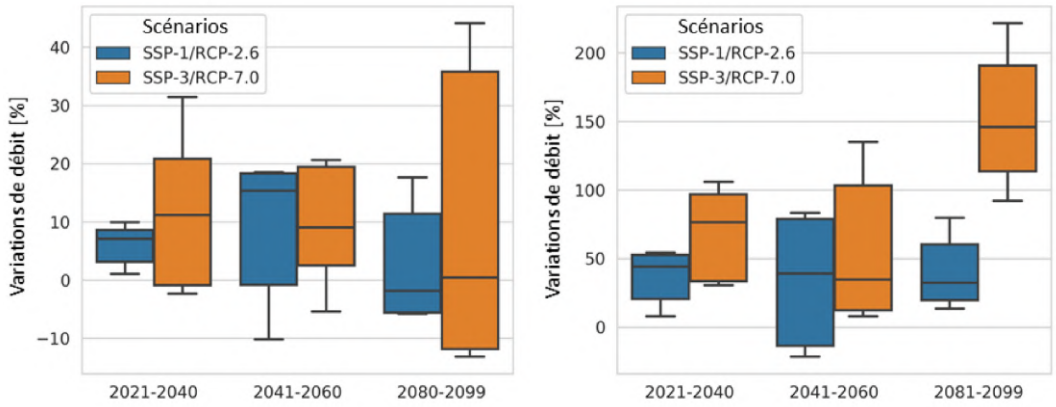


Figure 24 : Projected change in annual mean discharge at Niamey (Niger River, left) and at Baleyara (Dallol Bosso, right).

Dans le régime d'écoulement mensuel, ces changements annuels se reflètent principalement des mois de juillet à décembre pendant et après la saison des pluies (Figure 25). Une hausse du débit du fleuve Niger (Dallol Bosso) au mois d'octobre et novembre (août et septembre) est claire à toutes les périodes et pour tous les scénarios. À la fin du siècle (2080-2099), le débit devrait baisser pour revenir à ses niveaux antécédents, surtout en vertu du scénario SSP3-RCP7.0 dans le cas du fleuve Niger. Une forte augmentation du débit à la fin du siècle est projetée durant les mois d'août et septembre dans le bassin de Dallol Bosso. Les incertitudes de l'ensemble (indiquées par les intervalles interquartiles et min. -max. dans la figure 24) sont particulièrement fortes en vertu du scénario d'émissions élevées et au cours de la période 2080-2099. Si le débit fluvial se maintient tout le long de l'année (fleuve Niger principal, par ex.), les projections indiquent des changements mineurs, respectant en grande partie la tendance annuelle. Ces changements temporels sont suscités par le renforcement de la mousson Ouest-africaine (voir partie 1.4) et pourraient entraîner une

augmentation des eaux de surface pendant la saison des pluies, ce qui provoquerait des crues saisonnières et un débit des eaux souterraines plus fort.

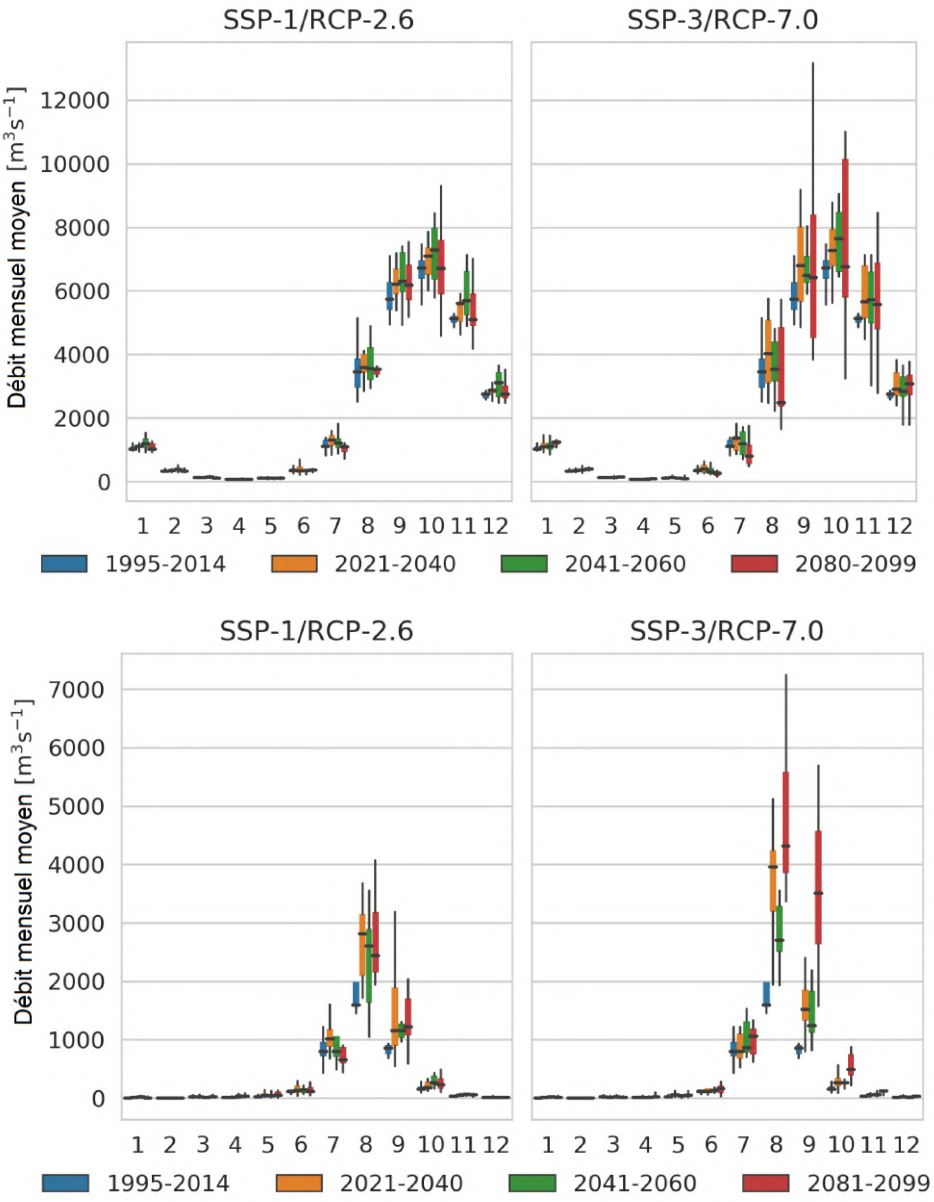


Figure 25 : Débit mensuel moyen pendant la période de référence (bleue) et les trois périodes à venir en vertu du scénario de réduction des émissions (gauche) et du scénario d'émissions élevées (droite) à Niamey (fleuve Niger, en haut) et à Baleyara (Dallol Bosso, en bas). Les barres d'erreur renvoient à l'intervalle interquartile (en couleur) et à l'intervalle de l'ensemble (moustaches).

2.4.2 Recharge des eaux souterraines

Outre le débit fluvial, la recharge des nappes phréatiques représente un régime hydrologique important qui détermine la disponibilité future des ressources en eau souterraine pour les communautés qui en dépendent. La hausse des quantités de précipitations se traduit aussi en partie par des taux annuels de recharge des nappes phréatiques plus élevés, principalement en vertu du scénario SSP3-RCP7.0, dans de grandes parties du bassin du Niger et surtout dans le sud du Niger (Figure 26). En vertu du scénario de réduction des émissions, les hausses sont modérées et en général peu

significatives si l'on considère les écarts de l'ensemble.

Étant donné le vaste intervalle de l'ensemble, le changement n'est en grande partie pas significatif sur le plan statistique (si l'on compare les moyennes périodiques de la situation de référence aux périodes à venir). En particulier, l'augmentation de la médiane de l'ensemble en vertu du scénario de réduction des émissions à la fin du siècle ne présente pas de changement significatif. Cela s'accorde avec la variabilité climatique de la région qui se reflète dans la divergence exprimée par les modèles climatiques. Toutefois, les résultats fournissent des indications importantes sur les tendances générales et montrent clairement les écarts entre les scénarios d'émissions.

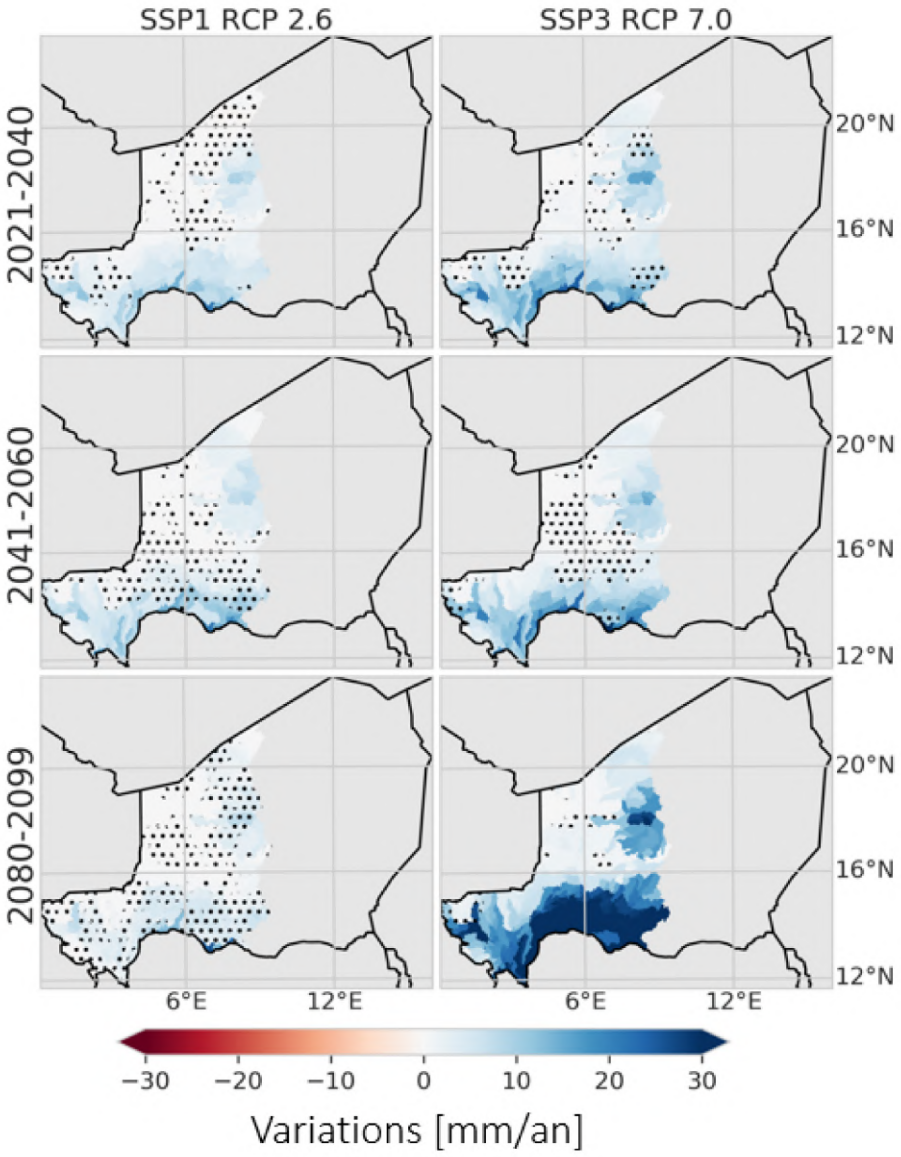


Figure 26 : Variation médiane de la recharge des nappes phréatiques (au niveau du sous-bassin) par rapport à la période de référence (1995-2014) pour les deux scénarios (gauche/droite) et les trois périodes à venir (rangées de haut en bas). Les zones en pointillés montrent des modifications insignifiantes du point de vue statistique (seuil de signification de 5%) si on considère les moyennes périodiques de l'ensemble. Les zones grises sont soit extérieures au Niger, soit extérieures au domaine de modélisation.

Avec la projection de hausse des températures (chapitre 1) et l'intensification du cycle hydrologique associée, d'autres indicateurs hydrologiques devraient également augmenter au Niger. Les projections concernant le débit maximum annuel, un indicateur de crue saisonnière, indiquent une augmentation en conformité avec les augmentations de débit saisonnières (Figure 25), rendant le risque de crues dangereuses plus probable.

Il est important de remarquer que le climat du Niger est dominé par de fortes fluctuations inter- et pluriannuelles, ce qu'illustrent les observations passées des années 1960 très humides et des années 1970 sèches et 1980, très sèches. Ce schéma de quasi-fluctuation se retrouve également au niveau des indicateurs hydrologiques et, dans de nombreux cas, l'amplitude est plus vaste que dans les projections des modifications présentées ici. Le choix des périodes de référence et des périodes à venir peut donc avoir une influence importante sur les modifications attendues, comme cela est discuté dans Liersch et al. (2020) sur un exemple du bassin de la Volta voisin. Les résultats des modèles climatiques mondiaux sont une réalisation synthétique de la météo dans les périodes de référence et futures. Bien que ces schémas de quasi-fluctuation se reflètent dans les modèles, ils ne sont pas synchronisés entre eux (Figure 27). À savoir, un modèle pourrait prévoir une période humide pour les années 2050, tandis que plusieurs autres prévoiraient des périodes très sèches. Cela explique en partie la grande ampleur des incertitudes et les signaux de changement opposés.

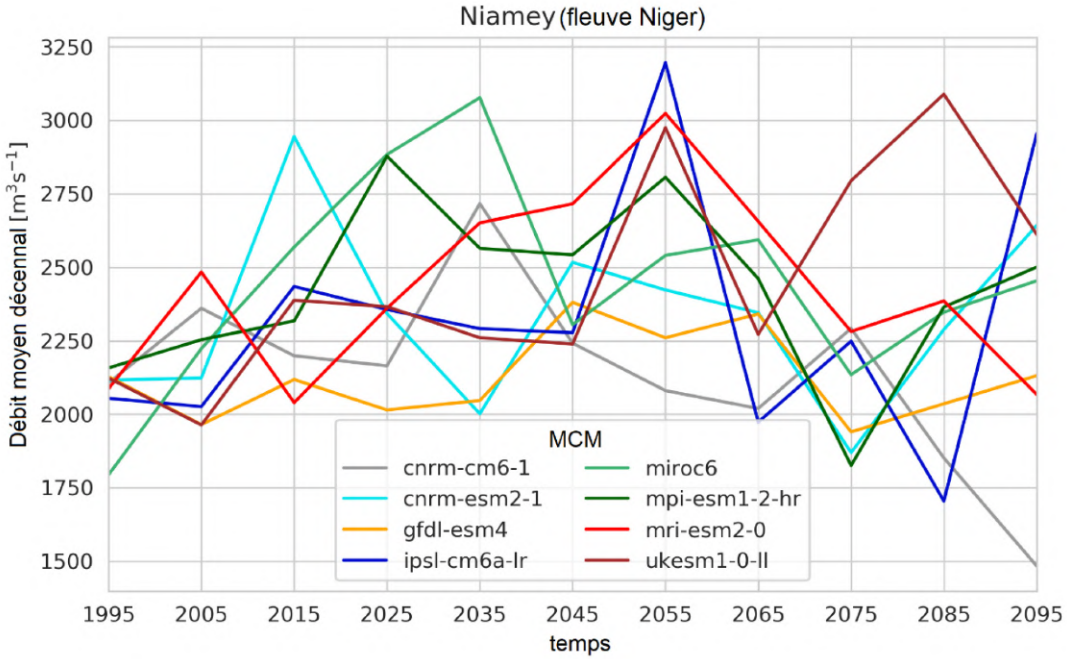
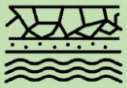


Figure 27 : Débit décennal moyen à Niamey (fleuve Niger) simulé par SWIM en vertu du scénario SSP1-RCP2.6 fondé sur l'ensemble de modèles climatiques mondiaux indiqués dans la légende.

Résumé du chapitre 2

Ce chapitre a donc examiné les modifications hydrologiques au Niger en recourant à une modélisation hydrologique semi-répartie fondée sur les scénarios d'émissions et les résultats des modèles climatiques mondiaux présentés au chapitre 1. Il a ensuite évoqué les variations prévues au niveau des paramètres hydrologiques vitaux pertinents pour l'approvisionnement en eau pour l'agriculture et les communes. Les tendances renvoient aux moyennes annuelles à long terme et aux médianes de l'ensemble. Les résultats indiquent une tendance générale à la hausse du plus grand débit fluvial du pays vers le milieu du siècle, puis une baisse jusqu'en 2090 en vertu des deux scénarios d'émissions, avec une hausse cependant plus forte et une baisse plus faible en vertu de SSP3-RCP7.0. En outre, les tendances s'avèrent similaires mais leurs répercussions sont plus fortes pour les bassins plus petits et plus secs, avec une fourchette de 30-45% en vertu de SSP1-RCP2.6 et de 30-145% en vertu de SSP3-RCP7.0, la divergence la plus grande étant à la fin du siècle. Les tendances de hausse des précipitations se traduisent aussi en hausse des niveaux de recharge des nappes phréatiques dont les effets sont plus marqués au sud du Niger en vertu du scénario d'émissions élevées vers la fin du siècle.

Tableau 2 : Récapitulatif des changements hydrologiques dans le cadre du changement climatique au Niger.

Impacts		Tendance passée	Tendance future	Confiance
	**Débit**	Augmentation ↗	Augmentation, baisses possibles en vertu de SSP1-RCP2.6 ↗	Moyenne
	**Recharge des nappes phréatiques**	Augmentation ↗	Augmentation, en part. en vertu de SSP3-RCP7.0 ↗	Moyenne
	**Évapotranspiration**	Pas de changement majeur	Augmentation légère	Élevée
	**Débit maximum de crue**	Augmentation depuis les années 1990 ↗	Augmentation, mais modifications du régime possibles ↗	Moyenne



Chapitre 3 – Impacts climatiques sur la production agricole

Les deux-tiers du Niger présentent des zones arides. Seule la partie sud du pays permet d'assurer une production agricole. Même dans les zones sahéliennes et soudano-sahéliennes du pays, la production agricole est limitée, car ces régions ne reçoivent respectivement que 200 à 500 mm et 600 à 800 mm de précipitations par an. Généralement, les précipitations sont concentrées sur seulement trois mois dans l'année (juillet, août et septembre), avec de fortes températures pouvant atteindre 45 °C. Malgré ces conditions climatiques contraignantes, l'agriculture de subsistance pluviale à petite échelle domine au Niger, et l'irrigation concerne moins d'un dixième des surfaces cultivées. Le millet perlé, le sorgho et le niébé sont les cultures principales du pays, qui produit aussi entre autres du maïs, du manioc, du riz et de la patate douce. Les faibles précipitations, caractérisées par une forte variabilité interannuelle, sont à l'origine des rendements agricoles peu élevés et variables dans le pays. C'est un problème auquel se greffent les capacités limitées des agriculteurs, l'épuisement des sols, le nombre insuffisant des services de vulgarisation et un manque d'accès aux intrants agricoles de qualité. Le changement climatique exerce une pression supplémentaire sur la capacité agricole altérée du Niger et pourrait aggraver une situation déjà difficile en matière de potentiel et de rendements agricoles. La météorologie, la fertilité des sols et la gestion agricole, qui est à son tour vraisemblablement conditionnée par les mesures politiques, ainsi que la richesse en ressources naturelles et les conditions biophysiques sont les principaux facteurs à l'origine des variations des rendements agricoles. Cependant, l'ampleur du rôle joué par ces facteurs dans le rendement des cultures varie dans le temps et l'espace.

Ce chapitre a donc pour objectif d'examiner de plus près les impacts climatiques sur la production agricole sous trois angles différents. Dans une première partie, nous recourons au modèle cultural AMPLIFY afin d'évaluer le rôle de la variabilité météorologique actuelle, au jour le jour, sur les rendements du maïs, du niébé, du sorgho et du millet[7] au Niger, à la fois au niveau national et infra-national (régional). Dans la deuxième partie, nous évaluons l'aptitude biophysique de certaines cultures à implanter dans des régions spécifiques du Niger, et comment cette aptitude pourrait être modifiée par le changement des conditions climatiques vers le milieu du siècle. Enfin, nous complétons cette analyse en examinant les impacts projetés à long terme du changement climatique sur les rendements agricoles d'ici à 2030, à 2050 et à 2090. Pour cela, nous recourons au modèle cultural DSSAT basé sur les processus, et nous nous concentrons sur l'étude de cas du sorgho en vertu des deux scénarios d'émissions pour l'avenir, à savoir SSP1-RCP2.6 (scénario de réduction des émissions) et SSP3-RCP7.0 (scénario d'émissions élevées), car le millet et le sorgho présentent des stratégies similaires pour s'adapter au stress hydrique et à des conditions similaires au changement climatique (Choudhary et al., 2019).

7 Il existe neuf variétés différentes de millet cultivé. Notre analyse se concentre sur le millet perlé.

3.1 Influence météorologique passée sur la production agricole

3.1.1 Données et méthode

Au Niger, les rendements agricoles sont fortement influencés par la météo. Afin de déterminer la part de la météo dans les variations des rendements, cette étude se concentre sur les anomalies de rendements afin d'écarter toute influence issue des tendances à long terme liées à la gestion (application d'engrais, changements de cultivars, etc.) qui pourrait altérer l'évaluation de l'influence météorologique sur les rendements. Les anomalies sont définies comme des variations autour d'une tendance de régression locale (lissée avec "loess", une approche normalisée pour l'estimation de tendances non paramétriques). Les séries chronologiques régionales des anomalies observées et modélisées (obtenues à partir de WASCAL pour les années 2000 à 2018) sont agrégées au niveau national et pondérées en fonction des parts de superficie.

Le schéma de modélisation appliqué est une variante du modèle AMPLIFY (Agricultural Model for Production Loss Identification and Failures of Yields) (Gornott et Wechsung, 2016 ; Schauberger et al., 2017) et consiste en une régression LASSO avec une sélection de variables par validation croisée et une validation hors échantillon (OOS). Pour l'OOS, toutes les paires combinatoires de deux années ont ensuite été omises de la formation du modèle, puis prédites par ce modèle, traitant ainsi les deux années retenues comme de "nouvelles" données démontrant la capacité à la généralisation. Cette performance OOS indique avec plus de fiabilité la part réelle des variations de rendements liées à la météo, puisque les estimations du modèle complet sont sujettes au sur-apprentissage lié à la brièveté de la série chronologique disponible (19 années).

Les données météorologiques sont extraites de ERA5 (températures) et de CHIRPS (précipitations), téléchargées à partir du site de Google Earth Engine en mai et juin 2020. Leur résolution d'origine de ~25 km a été remappée à l'échelle régionale. Les ensembles de données mensuelles et saisonnières des températures journalières maximales, minimales et moyennes ainsi que des quantités de précipitations sont inclus dans le modèle après réduction des groupes de variables hautement corrélées (Pearson $r > 0{,}7$) à une variable représentative par groupe. Les saisons de croissance ont été choisies en se référant au calendrier cultural de la FAO pour le Niger, définissant les mois de juin à octobre pour le niébé et le maïs, et de juillet à octobre pour le millet et le sorgho.

3.1.2 Résultats

La part de variation des rendements qui serait due aux variations météorologiques est élevée pour le niébé, le maïs, le millet et le sorgho à la fois au niveau national (Figure 28) et au niveau régional (Figure 29). Dans le cas des quatre cultures, on a trouvé que plus de 50% des variations de rendements observées au niveau national seraient causées par des variations météorologiques durant la saison de croissance, comme le montrent les courbes du modèle hors échantillon à la Figure 28. Les anomalies positives et négatives prononcées, telles que la chute des rendements de maïs en 2011 ou le pic des rendements de sorgho en 2015, sont bien capturées par le modèle de régression basé sur les températures et les précipitations. Ces résultats montrent que les mesures d'adaptation concernant l'agriculture doivent tenir compte des anomalies météorologiques. Ils laissent également entrevoir la possibilité d'anticiper les rendements et la production si la prévisibilité météorologique s'améliore.

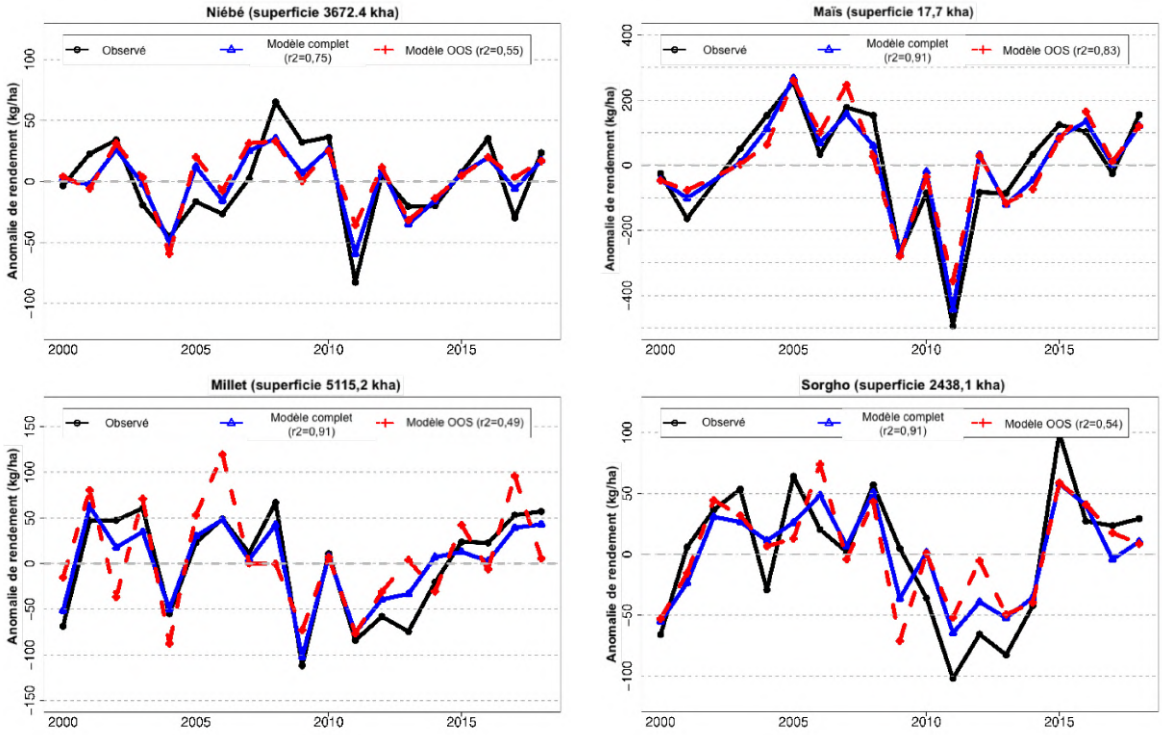
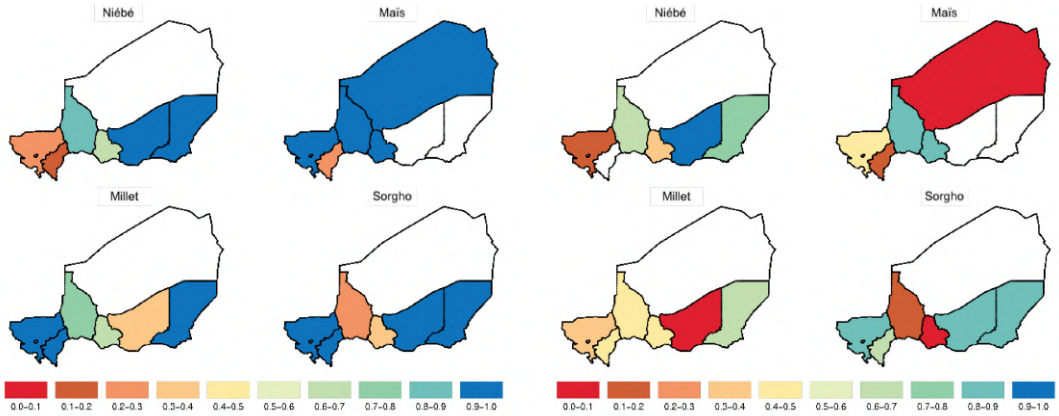


Figure 28 : Séries chronologiques des anomalies de rendements (kg/ha) à l'échelle nationale pour le niébé, le maïs, le millet et le sorgho. Les superficies cultivées par type de céréale sont indiquées dans le titre du graphique correspondant. Les lignes tracées en noir, en bleu et en rouge correspondent respectivement aux anomalies de rendements observées, modélisées avec la base de données complète et modélisées par deux hors échantillon (OOS). La part de l'écart expliqué (R2) dans les variations de rendements due aux variations météorologiques est indiquée dans la légende des deux types de modèles.

La part de l'écart liée à la météo à l'échelle régionale, présentée à la Figure 29, met en lumière les différences régionales des capacités de modélisation. Pour la plupart des cultures et des régions, il est possible d'obtenir des estimations fiables du modèle hors échantillon ($R^2 > 0,4$, correspondant à une corrélation de Pearson $r > 0,63$). Dans certains cas, comme celui par exemple du maïs à Agadez, du millet à Zinder ou du sorgho à Maradi, un modèle fiable n'a pas pu être élaboré. Plusieurs raisons peuvent en être la cause, notamment une influence limitée de la météo sur la croissance des cultures, des erreurs au niveau des données de rendements, la qualité insuffisante des données météorologiques appliquées pour la détection de signaux ou l'agrégation trop approximative des données au niveau régional, étant donné que les impacts météorologiques sur la formation des rendements diffèrent vraisemblablement d'un département à l'autre. Un manque d'influence de la météo sur la croissance des cultures est invraisemblable en raison de ses impacts généralement forts, bien que l'application d'engrais ou les phases de semis peuvent varier suivant les régions, modifiant ainsi les réactions des cultures par rapport au temps. Pour ce qui est de la qualité des données de rendements, on la suppose similaire sur un même type de culture et quelle que soit la région, bien que des petites surfaces cultivées (comme dans le cas du maïs à Agadez) peuvent rendre les statistiques moins fiables. En particulier, les rendements de maïs au niveau départemental dont nous disposions - mais qui n'ont pas été analysés ici – comportaient de nombreuses lacunes et de forts écarts, ce qui pourrait avoir des répercussions sur les données des rendements au niveau régional utilisées ici, si celles-ci sont compilées à partir des données départementales. Mais leur qualité reste difficile à évaluer à partir des données de rendements seules. Concernant les données météorologiques, on suppose que leur justesse est équivalente sur l'ensemble des régions, de telle façon que des différences dans la performance de modélisation ne devraient pas dépendre de ces données. Enfin, une divergence marquée des impacts météorologiques

sur la croissance culturale entre *zones* d'une même région est possible mais reste incertaine sans données haute résolution à long terme à l'échelle départementale.



(a) Estimation avec base de données complète (b) Estimation avec deux hors échantillon

Figure 29 : Part de l'écart expliqué (R2) dans les variations de rendements due à la météo à l'échelle régionale pour (a) une estimation avec base de données complète et (b) une estimation avec deux hors échantillon. Les nuances rouges et orangées indiquent une faible influence de la météo, tandis que les nuances vertes à bleues indiquent un impact important des caprices de la météo sur la formation des rendements culturaux.

3.2 Évaluation de l'aptitude culturale et changement des conditions climatiques

Nous réalisons une analyse de l'aptitude culturale afin de mieux comprendre et quantifier le risque climatique sur des cultures de premier plan et d'aviser la planification de l'adaptation nationale ainsi que l'élaboration de mesures politiques. Les évaluations de l'aptitude culturale sont fondées sur le principe que les paramètres biophysiques (teneur du sol en carbone organique par ex.) et les variables climatiques (quantité totale des précipitations reçues durant la saison de croissance par ex.) jouent un rôle important dans la détermination des taux de production agricole, ce qui est vrai pour de nombreuses régions tropicales où l'agriculture est influencée par la météo. Un modèle d'évaluation de l'aptitude utilise donc ces variables pour générer un score pour chaque culture, chaque période et chaque emplacement, en fonction de l'adéquation des variables avec les besoins de la culture en question ou avec les conditions régnant dans les zones de production actuelles connues (Evangelista et al., 2013). Le remplacement des variables climatiques importantes en termes agronomiques telles que la quantité totale des précipitations reçues durant la saison de croissance, des précipitations durant le mois de semis, le coefficient de variation de la pluviosité, la température moyenne pendant la saison de croissance et la variabilité des températures pendant la saison de croissance, par les variables projetées dans le cadre du changement climatique permet de montrer les modifications liées au changement climatique subies par les terres arables potentiellement cultivables d'une zone pour une culture spécifique (Beck, 2013 ; Srinivasan et al., 2019). La modélisation de l'aptitude culturale est une évaluation des caractéristiques sur toute une saison et spécifiques à une saison, qui permettent à certaines cultures d'être produites en certains lieux.

3.2.1 Données et méthode

Les modèles climatiques d'évaluation de l'aptitude culturale sont appliqués afin de mesurer l'impact du changement climatique sur la capacité à produire du sorgho, du millet, du maïs et du niébé au Niger. Neuf paramètres biophysiques importants sur le plan agronomique servent à modéliser l'aptitude climatique des quatre cultures dans les conditions climatiques actuelles et futures, suivant les

scénarios d'émissions présentés au chapitre 1. Il s'agit des précipitations et des températures des mois de semis, des précipitations et des températures de la saison de croissance, des températures annuelles moyennes, de la fourchette des températures annuelles, de la quantité des précipitations annuelles, de la teneur du sol en carbone organique (CO) et de la densité apparente du sol, les facteurs du sol restant inchangés dans le contexte du changement climatique. L'approche d'apprentissage-machine eXtreme Gradient Boosting (XGBoost) (Chen et Guestrin, 2016) a été utilisée pour modéliser l'aptitude.

Les données de production agricole pour chacune des quatre cultures sélectionnées ont été divisées en quatre groupes (optimale, modérée, marginale et limitée) en recourant aux centiles du rendement moyen. Par exemple, les zones à vocation optimale sont définies comme celles étant supérieures au 75e centile du rendement moyen à long terme, ce qui correspond aux zones ne présentant aucune limite notable à une production soutenue et stable sur la durée. Les zones à vocation modérée correspondent à celles permettant une production agricole comprise entre le 50e et le 75e centile du rendement, à vocation marginale entre le 25e et le 50e centile, et à vocation limitée si elle est inférieure au 25e centile du rendement moyen à long terme, indiquant donc que les conditions biophysiques de ces zones ne sont pas adaptées à la culture analysée.

Ces modèles ont été évalués avant leur application en recourant à la validation croisée par "leave-one-out". Outre les indicateurs de performance basés sur la classe pour chaque culture tels que la spécificité, la sensibilité et l'exactitude équilibrée (balanced accuracy), nous calculons l'aire multiclasse sous la courbe ROC (AUC) pour évaluer la performance du modèle général comme Hand et Till (2001) la définissent.

Les résultats des quatre cultures sont également regroupés afin d'identifier l'altération de la capacité à la polyculture sous les effets du changement climatique et d'obtenir un indicateur du potentiel de diversification ou de rotation des cultures. Pour déterminer l'aptitude climatique à la culture des quatre principales céréales cultivées au Niger, l'aptitude individuelle de chacune des céréales est associée aux autres afin de comprendre quelles zones offrent une aptitude à la polyculture actuellement et dans les conditions du changement climatique en recourant à la méthode de Chemura et al. (2020). Dans cette approche, les cartes présentant chaque aptitude individuelle sont superposées afin de définir le nombre de cultures adaptées à chaque cellule, puis les cellules présentant les aptitudes à chaque culture sont comptées. Les modifications dans la proportion et la répartition des aptitudes entre les conditions climatiques actuelles et projetées ont été analysées en comparant les zones suivant des périodes chronologiques et des scénarios climatiques.

3.2.2 Facteurs déterminant la vocation culturale au Niger

La contribution relative de chaque variable du modèle à l'aptitude des cultures a été établie en recourant à l'importance de permutation (Figure 30). Cela a permis de hiérarchiser les variables déterminantes pour le sorgho, le millet, le maïs et le niébé. La variable la plus importante pour l'aptitude au sorgho était la quantité de précipitations à la saison de croissance, mais le facteur le plus important pour le millet était la quantité annuelle des précipitations. Les variables relatives aux températures étaient les plus importantes pour le maïs (température à la saison de croissance : 19%) et pour le niébé (température des mois de semis : 44%). Dans l'ensemble, l'aptitude culturale est influencée par différents facteurs, les précipitations étant les plus notoires pour l'aptitude au sorgho, tandis que les températures sont les variables les plus cruciales pour le millet, le maïs et le niébé. L'importance des facteurs du sol était évidente pour le maïs (27%) et le millet (21%), qui dans les deux cas, étaient plus faibles que les variables des précipitations et des températures.

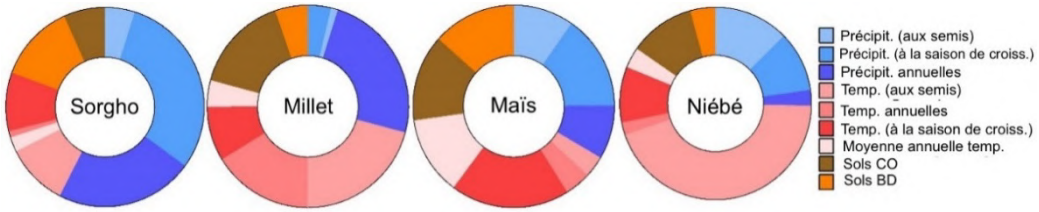


Figure 30 : Importance des variables dans la modélisation de l'aptitude au sorgho, au millet, au maïs et au niébé au Niger.

3.2.3 Aptitude culturale actuelle

Le sorgho convient aux régions situées au sud du Niger ; 6,9% et 6,1% du pays étant respectivement considérés comme adaptés de manière optimale et modérée au sorgho dans les conditions climatiques actuelles. Ces zones se retrouvent dans toutes les provinces, à l'exception d'Agadez, qui présente la plus vaste zone ayant une aptitude limitée au sorgho (Figure 31). Notre modèle montre que le millet convient sur 6,4% des terres du pays dans les conditions climatiques actuelles. Les zones les plus vastes adaptées au millet se trouvent dans la région de Tillabéri. C'est au maïs que les surfaces sont le moins adaptées dans les conditions climatiques actuelles (2,7% y sont modérément adaptées et 1,7% y sont adaptées de manière optimale). Il s'agit de la plus faible valeur parmi les quatre céréales observées dans cette étude. Le niébé présente la plus grande proportion de surfaces adaptées de manière optimale (9,8%) dans les conditions climatiques actuelles.

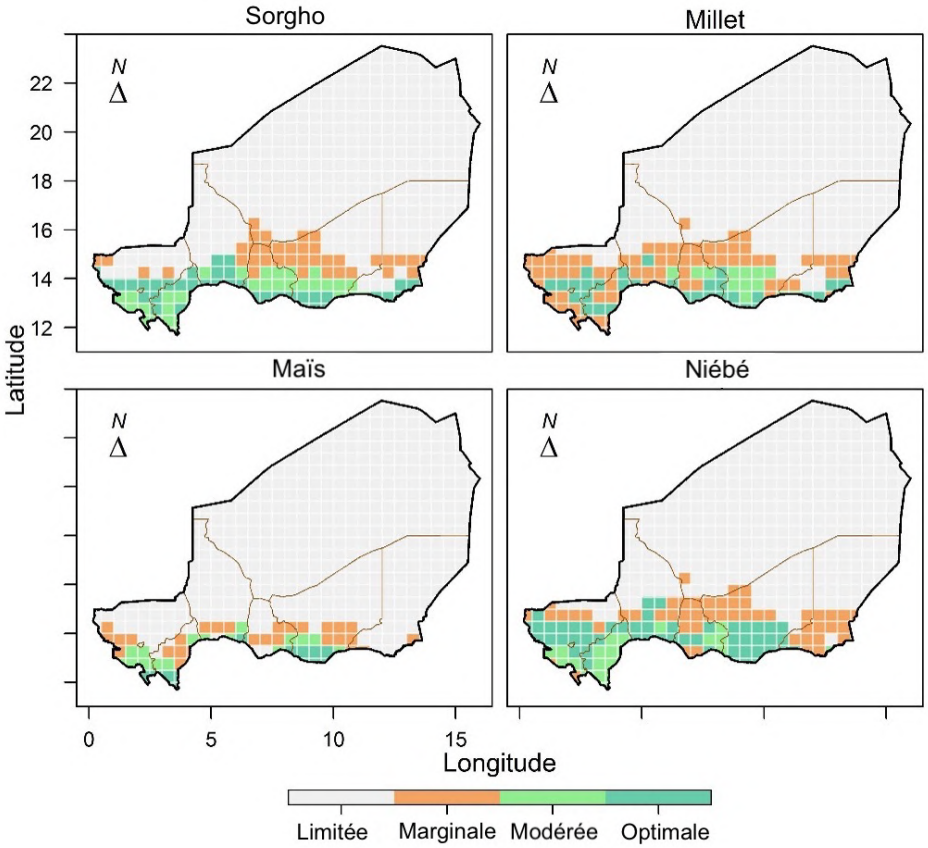


Figure 31 : Cartes présentant l'aptitude climatique actuelle au sorgho, au millet, au maïs et au niébé au Niger d'après une modélisation basée sur les rendements observés.

3.2.4 Aptitude au sorgho

Une légère augmentation peut être projetée dans les zones présentant une aptitude optimale au sorgho d'ici à 2030, à 2050 et à 2090 principalement dans les régions de Zinder au centre sud et de Diffa. Tandis que de plus en plus de zones deviendront plus adaptées au fil du temps, les zones présentant une aptitude réduite augmenteront également de 1,5% en 2030 à 2,5% en 2090. On prévoit un déplacement de l'aptitude vers le nord avec une diminution des zones à aptitude limitée qui deviendront adaptée de manière marginale et modérée au sorgho dans le contexte du changement climatique (Figure 32). Cela va survenir dans des zones actuellement adaptées à la production de sorgho, du fait que les projections indiquent une augmentation des quantités de précipitations (voir chapitre 1). Ces résultats signifient que, pour la production de sorgho, les conditions tout le long de la saison vont

s'améliorer et favoriser l'aptitude à la culture de cette céréale dans certaines zones. Des augmentations similaires de l'aptitude au sorgho dans le contexte du changement climatique dans les régions soudano-sahéliennes ont été signalées par Ramirez-Villegas et al. (2013). Cette augmentation de surfaces adaptées s'explique par les projections de hausse des précipitations et par le fait que le sorgho convient en général à de nombreuses conditions environnementales, beaucoup d'entre elles étant marginales pour d'autres céréales. En outre, selon Akumaga (2018), le sorgho présentera une réaction positive au changement climatique dans le bassin du Niger, la fertilité des sols l'emportant sur les changements climatiques. Notre modèle établit que les régimes de précipitations annuelles et saisonnières sont les deux principales caractéristiques pour l'aptitude au sorgho. Les projections révèlent leur hausse dans les parties sud et ouest du pays dans le contexte du changement climatique.

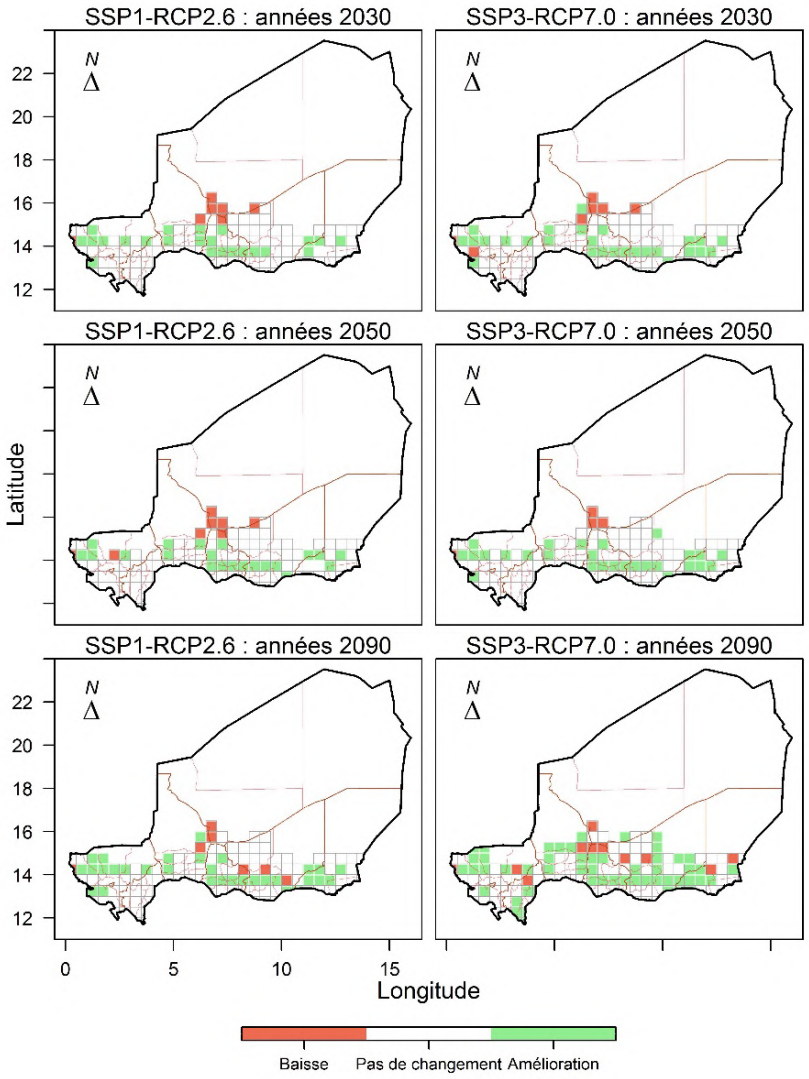


Figure 32 : Cartes montrant la modélisation des changements de l'aptitude au sorgho liés au climat au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. Les cases grises représentent les zones adaptées au sorgho dans les conditions climatiques actuelles.

3.2.5 Aptitude au millet

Une augmentation de l'aptitude au millet est projetée vers le nord dans les zones qui y sont adaptées, avec des hausses de 4,5% (SSP3-RCP7.0) et de 3,5% (SSP1-RCP2.6) d'ici à 2050, et de jusqu'à 3,8% en vertu de SSP1-RCP2.6 à 11,9% en vertu de SSP3-RCP7.0 d'ici à 2090 (Figure 33). Des gains

importants en zones adaptées sont projetés dans la région de Tahoua qui est majoritairement classifiée comme présentant une aptitude modérée et marginale au sorgho dans les conditions climatiques actuelles. Comme pour le sorgho, l'augmentation des quantités de précipitations projetée (voir chapitre 1) dans les parties sud du pays explique la meilleure adaptabilité du millet au Niger dans la modélisation. Comme le millet présente une phase de croissance plus brève et une meilleure tolérance aux précipitations plus faibles, les résultats confirment les attentes. Nous projetons que la majeure partie du pays ne connaîtra pas de changement au niveau de l'aptitude au millet. Egbebiyi et al. (2020) expliquent l'expansion vers le nord de l'adaptabilité au millet dans la région comme étant liée à l'interaction entre les précipitations et les températures, les précipitations étant le facteur le plus répressif des deux. En outre, le niveau d'aptitude actuel représente des rendements de millet relativement faibles en raison de la fertilité limitée des sols. De ce fait, cette meilleure aptitude devrait être évaluée par rapport aux écarts de rendements importants dans la région. Aussi, il convient de noter que les projections révèlent que certaines parties (même si elles sont limitées) du Niger vont perdre leur aptitude dans le contexte du changement climatique et que des stratégies d'adaptation sont donc requises pour ces régions.

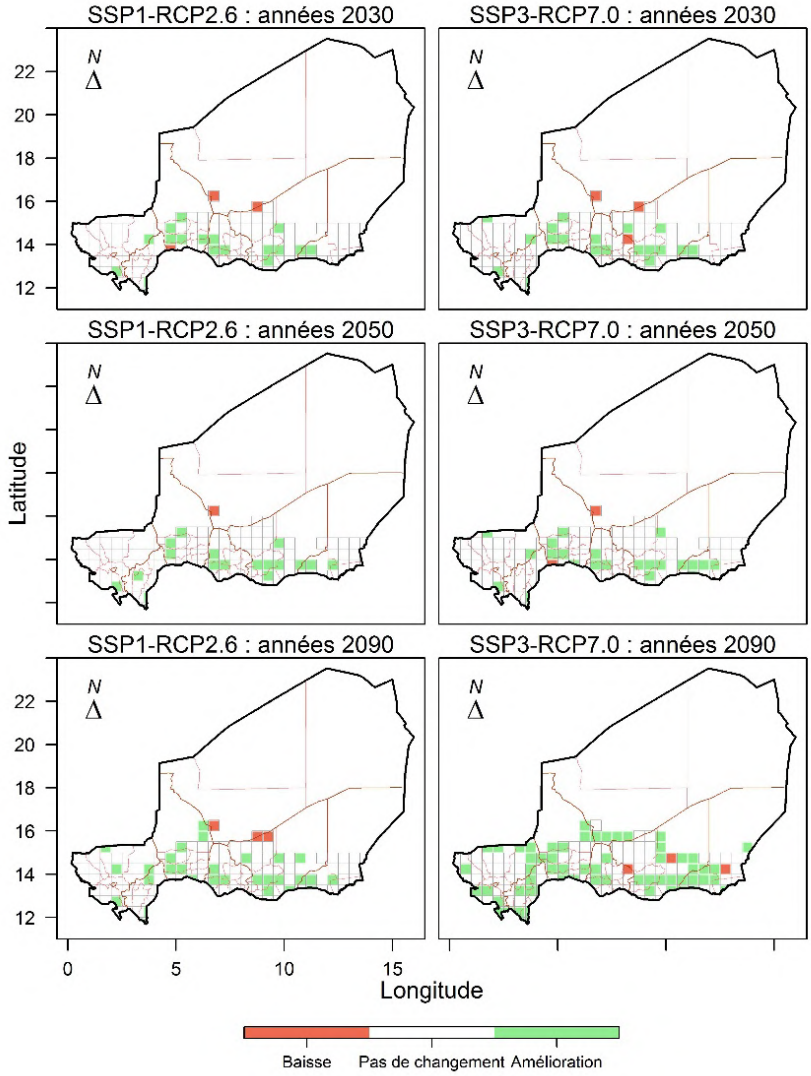


Figure 33 : Cartes montrant la modélisation des changements de l'aptitude au millet liés au climat au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. Les cases grises représentent les zones adaptées au millet dans les conditions climatiques actuelles.

3.2.6 Aptitude au maïs

Les projections indiquent une stabilité au niveau de la fourchette de production du maïs dans le pays (changements nets <2% pour toutes les catégories) d'ici à 2050. Tandis que des surfaces plus vastes deviennent mieux adaptées à la production du maïs, plus de zones deviennent également marginales pour cette céréale, avec toutefois de légères améliorations nettes projetées pour les régions de Zinder et de Maradi, et des baisses du potentiel pour la culture du maïs dans les régions de Tillabéri et de Dosso (Figure 34). Les projections montrent que les principales zones de production dans les parties ouest du pays vont être affectées par le changement climatique alors que ce sont des régions agricoles primordiales. Des changements importants au niveau de l'adaptabilité au maïs sont également projetés pour la région de Maradi dans le sud et des parties de Tillabéri à partir du milieu du siècle. Dans l'avenir lointain, en vertu du scénario d'émissions élevées, les conditions permettant la production du maïs vont se détériorer dans les parties sud de Zinder et de Maradi qui sont les principales régions de culture. Une adaptation ou une transition à d'autres cultures plus adaptées devraient être envisagées dans ces régions.

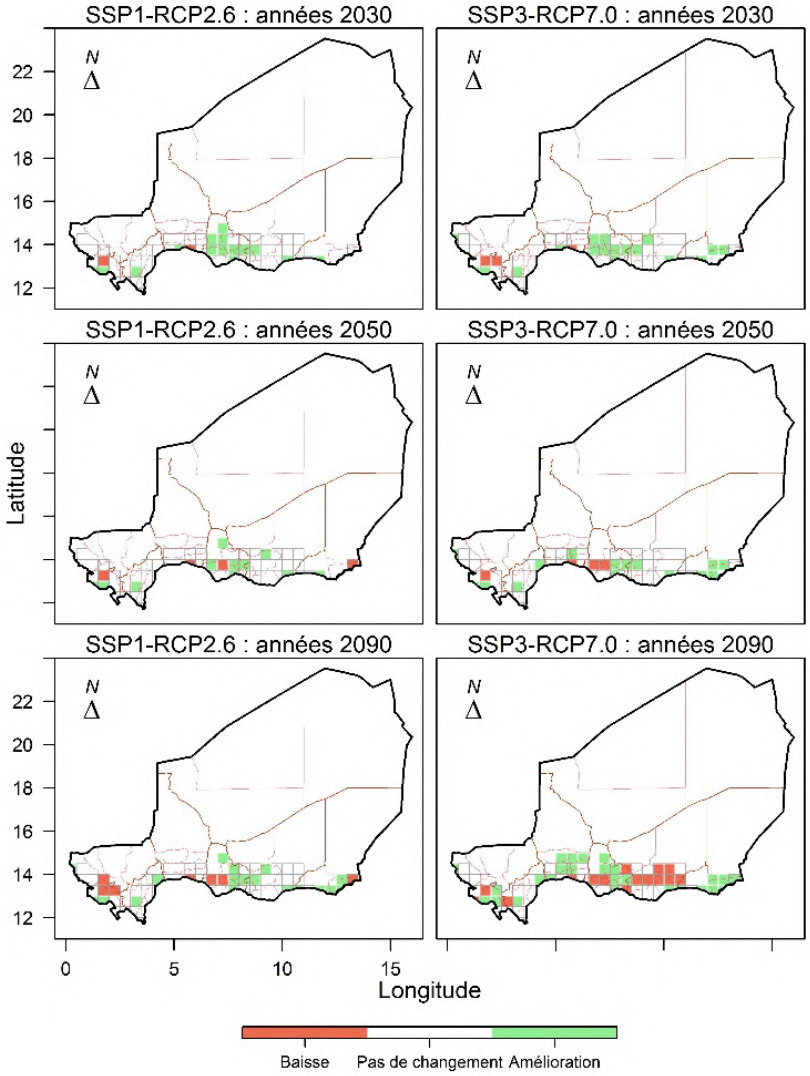


Figure 34 : Cartes montrant la modélisation des changements de l'aptitude au maïs liés au climat au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. Les cases grises représentent les zones adaptées au maïs dans les conditions climatiques actuelles.

3.2.7 Aptitude au niébé

Les projections des modèles indiquent que l'aptitude au niébé restera stable au Niger dans le contexte du changement climatique, mais on note des transferts de zones propices à la culture du niébé (Figure 35). Les projections révèlent une augmentation nette des zones adaptées au niébé de 1,3% (SSP1-RCP2.6) et de 2,0% (SSP3-RCP7.0) d'ici à 2030, de 1,8% (SSP1-RCP2.6) et de 2,5% (SSP3-RCP7.0) d'ici à 2050 et de 0,8% (SSP1-RCP2.6) et 4,0% (SSP3-RCP7.0) d'ici à 2090 (voir Tableau 3). En vertu de SSP3-RCP7.0, l'aptitude au niébé baissera de 2,2%, 2,7% et 4,2% respectivement en 2030, en 2050 et en 2090. Une évaluation régionale montre que l'aptitude va décroître dans la région de Zinder, mais augmenter dans les régions de Tahoua et de Tillabéri. En vertu du scénario d'émissions élevées, la baisse de l'adaptabilité au niébé projetée pour les parties sud de la région de Zinder d'ici à 2090 est considérable. Le niébé est surtout produit sous ombrage et, comme cela a été identifié dans les paramètres d'importance de notre modèle, les températures de semis et de croissance expliquent plus de 50% de l'aptitude au niébé dans le pays, à la différence d'autres cultures pour lesquelles la pluie est plus décisive. Le niébé est sensible aux variations

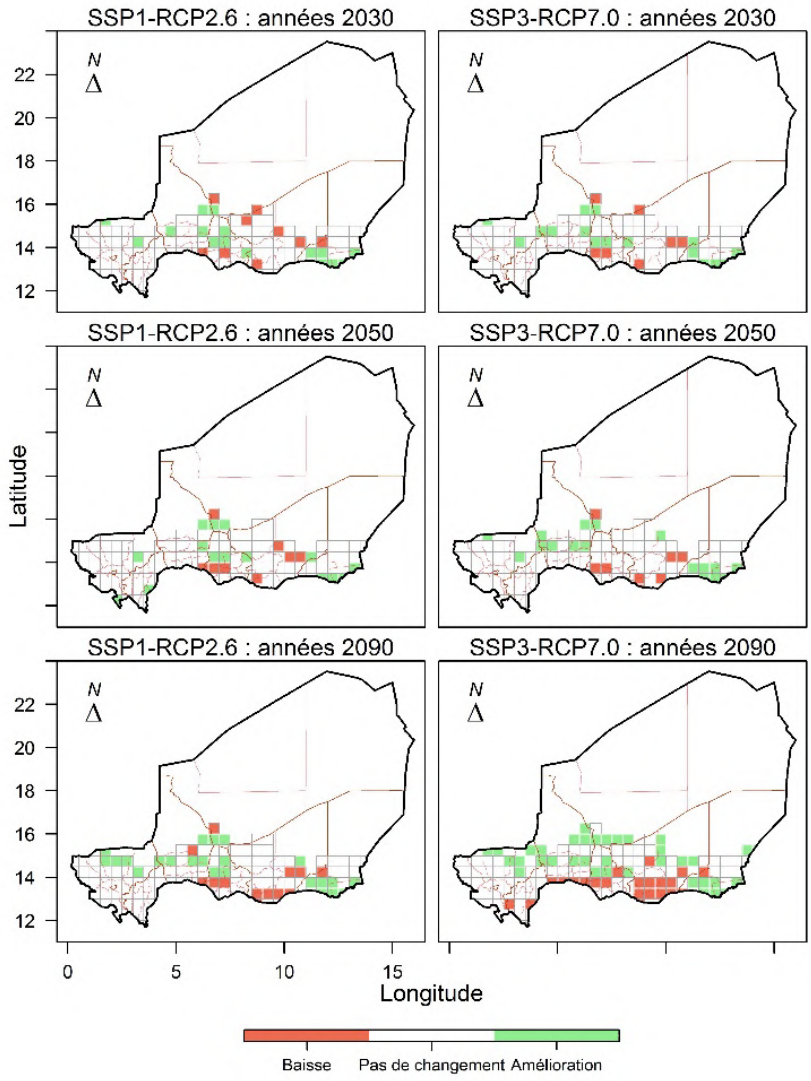


Figure 35 : Cartes montrant la modélisation des changements de l'aptitude au niébé liés au climat au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0. Les cases grises représentent les zones adaptées au niébé dans les conditions climatiques actuelles.

de températures et de ce fait, les projections relatives aux impacts ne sont pas surprenantes pour cette culture. D'autres études (notamment Hall, 2011 ; Carvalho et al., 2019) ont également signalé que les variations de températures liées au changement climatique durant la saison de croissance représentent la plus grande menace pour le niébé.

Tableau 3 : Taux de variations des surfaces par rapport à leur aptitude au sorgho, au millet, au maïs et au niébé d'ici à 2030, à 2050 et à 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 au Niger.

Cultures		2030		2050		2090	
		RCP2.6	RCP7.0	RCP2.6	RCP7.0	RCP2.6	RCP7.0
Sorgho	Baisse	1,5	0,7	1,5	1,5	1,7	2,5
	Pas de changement	92,8	92,8	92,1	91,3	93,3	86,1
	Augmentation	5,7	6,4	6,4	7,2	5,0	11,4
Millet	Baisse	0,5	0,2	0,7	0,7	0,2	0,7
	Pas de changement	95,5	95,0	94,8	93,3	95,8	86,6
	Augmentation	4,0	4,7	4,5	5,9	4,0	12,6
Maïs	Baisse	0,2	0,7	0,5	1,5	0,7	3,2
	Pas de changement	97,0	96,8	96,3	95,8	97,5	92,1
	Augmentation	2,7	2,5	3,2	2,7	1,7	4,7
Niébé	Baisse	2,2	1,7	1,7	2,7	2,0	4,2
	Pas de changement	94,3	94,6	94,8	92,1	94,8	87,6
	Augmentation	3,5	3,7	3,5	5,2	3,2	8,2

3.2.8 Aptitude à la polyculture

L'aptitude à la polyculture, comme indicateur indirect permettant d'analyser le potentiel de diversification du pays dans les conditions climatiques actuelles et projetées, a été évaluée en superposant les cartes dévoilant l'aptitude de chaque culture. Cette diversification des cultures a le potentiel de réduire les mauvaises récoltes et les pertes de rendement, et a donc un impact positif sur la nutrition, le pastoralisme, l'économie et la réhabilitation des sols, ainsi que le renforcement de la résilience des agriculteurs (Moussa et Abasse, 2020). Dans les conditions climatiques actuelles, les régions de Zinder, de Tillabéry et des parties de Dosso offrent un fort potentiel à la polyculture. Toutefois, dans les conditions climatiques actuelles, les zones optimales propices à l'ensemble des quatre cultures sélectionnées sont très limitées et représentent moins de 1% du pays. Si l'on combine les zones propices de manière optimale et modérée à la production de l'ensemble des quatre cultures, 3,7% du pays environ sont définis comme adaptés à la polyculture. Étant donné que l'aptitude aux cultures individuelles est bien plus élevée dans les conditions climatiques actuelles, la répartition spatiale de l'aptitude aux cultures montre que certaines zones sont propices à certaines cultures et pas à d'autres, et se situent toutes au sud et à l'ouest. Dans le contexte du changement climatique, le potentiel de la polyculture faiblira en vertu du scénario d'émissions élevées dès le milieu du siècle, mais les projections montrent qu'il augmentera d'ici à 2050 en vertu du scénario de réduction des émissions et baissera par la suite (Figure 36 et 37). Les pertes de l'aptitude culturale dans le cadre du changement climatique se concentrent principalement dans la région de Tillabéri, mais des gains sont perçus dans les régions de Zinder et de Maradi. La figure 36 montre le potentiel de diversification ou de transfert des cultures dans différentes parties du Niger et dans les conditions climatiques actuelles et projetées.

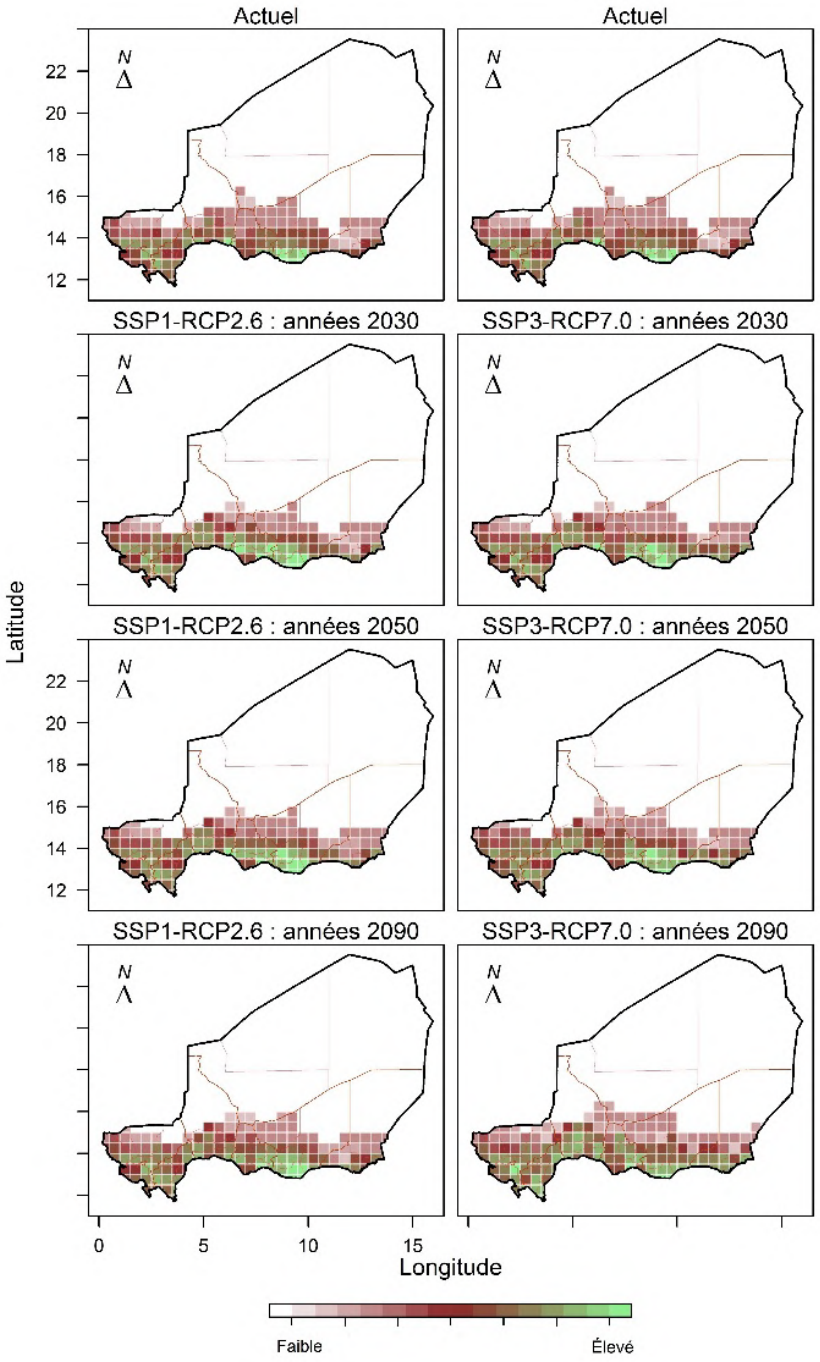


Figure 36 : Potentiel de l'aptitude à la polyculture dans les conditions climatiques actuelles et sélectionnées pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 au Niger. Les nuances vert foncé montrent les surfaces adaptées aux quatre cultures, et les surfaces en blanc ne sont adaptées à aucune des quatre cultures.

Les surfaces adaptées de manière optimale à la production de l'ensemble des quatre cultures se réduiront au fil du temps dans le contexte du changement climatique, alors que les surfaces adaptées de manière optimale à trois cultures augmenteront (Figure 37). Les projections montrent que les zones les moins propices à la production de l'ensemble des quatre cultures devraient apparaître en vertu de SSP3-RCP7.0 en 2090, où seulement 0,2% du pays sera adapté au sorgho, au millet, au maïs et au niébé, une baisse par rapport au taux de 0,7% prévu dans les conditions climatiques actuelles. Les

zones optimales à la production d'une seule culture baisseront de 7,9% dans les conditions climatiques actuelles à 6,2% (SSP1-RCP2.6) ou à 6,7% (SSP3-RCP7.0) d'ici à 2030, à 6,7% (SSP1-RCP2.6) ou à 6,2% (SSP3-RCP7.0) d'ici à 2050 et à 5,7% (en vertu des deux scénarios) d'ici à 2090 en raison du déplacement de l'aptitude à la culture en question (Figure 37).

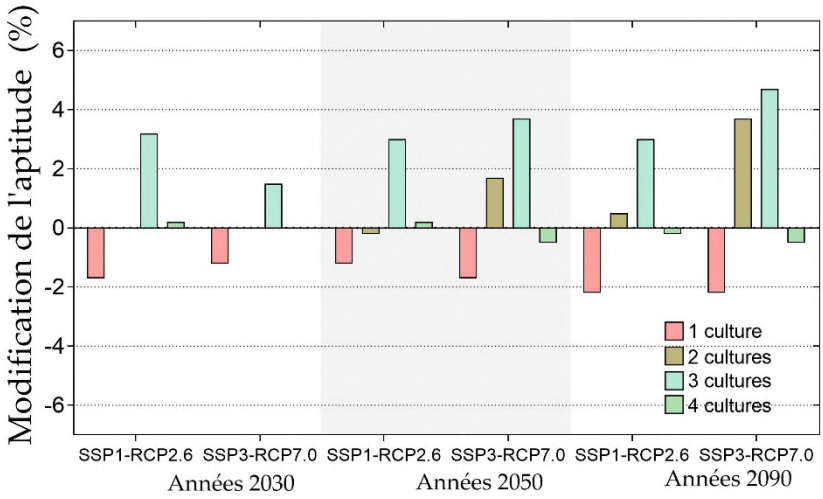


Figure 37 : Modifications des zones propices de manière optimale à la polyculture au Niger dans les conditions climatiques actuelles et projetées pour 2030, 2050 et 2090 en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

3.3 Évaluation de la perte des rendements de sorgho dans les conditions futures du changement climatique

Tandis que la partie précédente offre une évaluation générale de l'aptitude à différentes cultures en vertu des scénarios de changement climatique pour l'avenir, la partie suivante se concentre sur la modélisation biophysique et mécaniste des impacts du changement climatique sur les rendements agricoles du sorgho dans les régions où il est actuellement cultivé.

3.3.1 Données et méthode

Les rendements agricoles sont une réponse spécifique des végétaux aux variables météorologiques et à d'autres intrants actifs sur le terrain tels que les sols et les pratiques des agriculteurs. Ces interactions peuvent refléter des équations représentant la réponse physiologique d'une culture à des variables environnementales (Jones et al., 2003). Les modèles de simulation de cultures biophysiques incorporent simultanément l'interaction entre les sols, les plantes et les intrants agricoles ainsi que les informations météorologiques. Pour cette étude, nous avons recouru au DSSAT (Hoogenboom et al., 2017, 2019 ; Jones et al., 2003), un modèle de simulation de culture basé sur les processus qui simule le développement de la culture en fonction de la dynamique sol-plante-atmosphère et qui est couramment utilisé. Ce modèle nécessite des données météorologiques quotidiennes, des informations sur la surface et le profil des sols, des informations détaillées sur la gestion de la culture et les coefficients génétiques de la variété de culture choisie comme intrants pour simuler la croissance des plantes. Le système DSSAT calcule l'équilibre eau, azote, phosphore et carbone de la plante et du sol, ainsi que le développement végétatif et reproductif des cultures à un intervalle temporel quotidien.

La production de sorgho est simulée à un intervalle de quadrillage de 0,5° (env. 55 km x 55 km) au Niger suivant les projections climatiques actuelles et futures. Conformément aux chapitres 1 et 2, les scénarios d'émissions SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 ont été utilisés pour les projections de rendements des années 2030 (2021-2040), 2050 (2041-2060), et 2090 (2081-2100). Les données des projections climatiques simulées par des modèles climatiques mondiaux sont issues du projet ISIMIP3b (Lange, 2019a, 2019b).

Pour cette évaluation, nous adoptons des conditions d'agriculture pluviale et pas d'apport d'engrais comme stratégie de gestion par défaut pour le sorgho et utilisons pour le calibrage la variété de sorgho ouest-africaine du modèle DSSAT par défaut. La date de semis est automatiquement calculée par le modèle lorsque les sols du champ présentent au moins 10% d'humidité et que la température se trouve entre 10 et 40 °C. Simultanément, les dates de récoltes sont aussi automatiquement calculées par le DSSAT qui indique le moment où la culture arrivera à maturité. La profondeur des semis a été définie à 3 cm, avec un espacement de 45 cm entre les rangs et une densité de 13 plants/m², conformément aux pratiques courantes au Niger (White et al., 2015). Pour la calibration du modèle, nous nous référons aux statistiques des rendements fournis au niveau des provinces par le Ministère de l'agriculture du Niger (MAAH/DGESS, 2020). Seules les observations de quatre régions ont été utilisées (Maradi, Niamey, Tillabéri et Zinder, des régions majeures pour la culture du sorgho) pour calibrer le modèle en raison de la disponibilité des données et de la zone de productivité. De ce fait, le niveau de confiance de la simulation est plus élevé dans les quatre régions citées que dans d'autres régions du Niger, même si la simulation a été réalisée pour l'ensemble du pays. L'analyse au niveau national a été effectuée en fusionnant les simulations issues des régions.

Les rendements simulés correspondent aux rendements observés avec une corrélation de Pearson de r=0,53, un indice de concordance de Willmott d=0,61, et un écart type de 63kg/ha entre les rendements observés et simulés sur 16 observations (2001-2016) à l'échelle nationale et les erreurs de modélisation au niveau régional (différence entre les valeurs de rendements simulés et observés) de ±30-60 kg/ha.

Les rendements sont calculés d'après la réponse spécifique des plantes aux variables météorologiques et à d'autres intrants actifs sur le terrain tels que les sols et les pratiques des agriculteurs, reflétant des équations représentant les réactions physiologiques d'une culture à des variables environnementales (Jones et al., 2003).

3.3.2 Résultats

Les rendements actuels de sorgho au Niger atteignent en moyenne 0,33 t/ha dans les données observées et 0,36 t/ha dans les données simulées. Dans les données observées, la fourchette des rendements actuels dans le pays varie majoritairement entre 0,24 et 0,5 t/ha. La figure 38 présente la répartition actuelle des niveaux de rendements absolus au Niger ainsi que les changements projetés à l'avenir pour 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0.

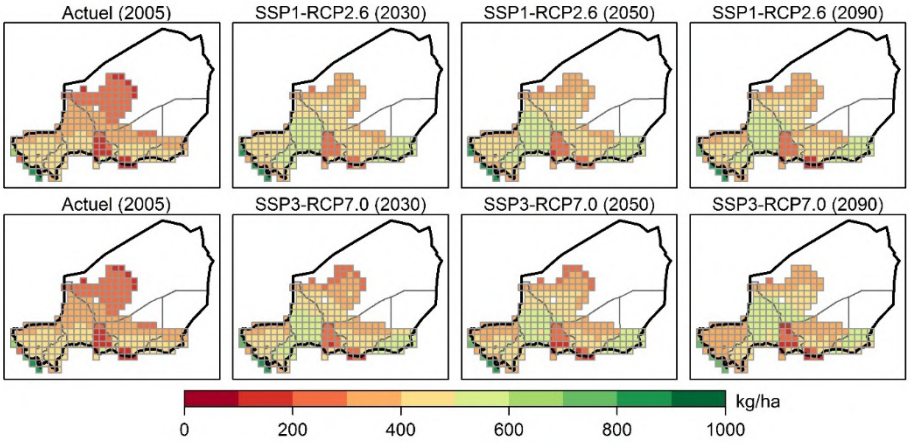


Figure 38 : Projections des rendements de sorgho actuels et futurs en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

Comme on peut également le voir sur la figure 39, les rendements au niveau national devraient augmenter dans le cadre du scénario SSP1-RCP2.6 en 2030, 2050 et 2090 (environ 15 à 17%), par rapport au niveau actuel. Dans le cadre du scénario SSP3-RCP7.0, les rendements au niveau national devraient également augmenter d'environ 14% d'ici à 2030, puis diminuer à nouveau pour atteindre une augmentation globale d'environ 11% (2050) et 10% (2090) pour la seconde moitié du siècle.

En outre, la distribution régionale des impacts sur le rendement devient particulièrement évidente dans la figure 39, indiquant des impacts négatifs globaux pour les deux scénarios d'émission à Niamey et Tillabery et des impacts fortement positifs à Agadez, Tahouha et Diffa. Une analyse des indicateurs climatiques suggère que la majeure partie des pertes de rendements projetées en vertu de SSP3-RCP7.0 peut s'expliquer par des augmentations de jusqu'à 4 °C des températures au fil du temps (Figure 11). Les quantités de précipitations et leur répartition tout le long de la saison ont peu d'impact sur les rendements, car selon les projections, ces deux indicateurs devraient rester relativement stables au départ puis suivre une tendance à la hausse à l'avenir (voir également le chapitre 1). Si l'on examine les projections relatives aux rendements et à l'adéquation du sorgho à Agadez (voir figure 32), il est clair que les rendements vont augmenter à l'avenir, alors que les zones adéquates vont diminuer. Cela est principalement dû au fait que la modélisation de l'adéquation examine les conditions générales des besoins de la culture. Le modèle de rendement, quant à lui, prend en compte des facteurs tels que les pratiques de gestion et les interactions entre différents paramètres qui peuvent avoir un impact positif sur les rende-

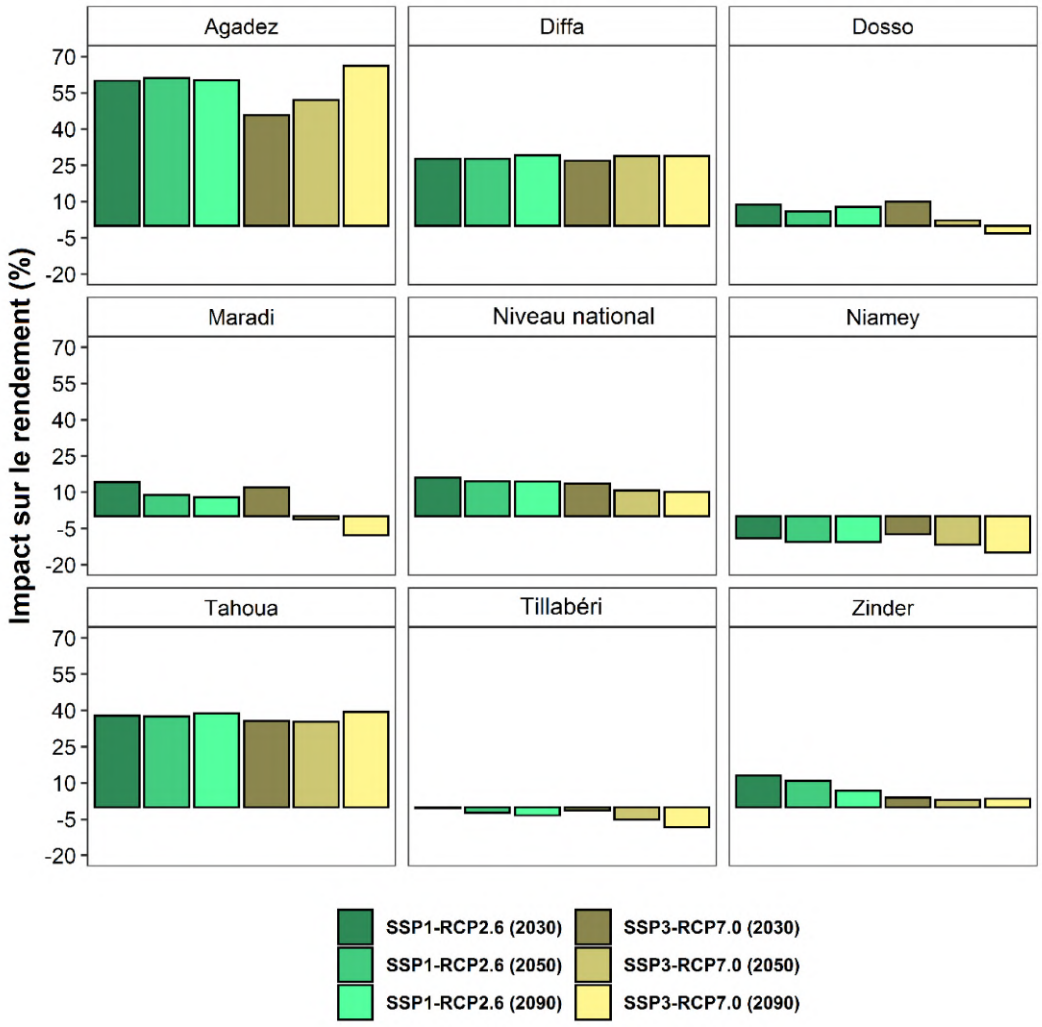


Figure 39 : Simulation des variations de rendements par région administrative au Niger pour les années 2030, 2050 et 2090 en vertu de SSP1-RCP2.6 et de SSP3-RCP7.0.

ments du sorgho. Dans l'ensemble, nos résultats sont cohérents avec d'autres études qui montrent que les rendements des céréales comme le sorgho et le maïs peuvent augmenter ou rester stables dans le cadre du changement climatique dans la région en raison de l'augmentation prévue des précipitations, malgré le réchauffement (Akumaga et al 2018, Parkes et al 2018). Cependant, les réponses du rendement des cultures sont différentes selon les régions. Par exemple, les pertes de rendement du sorgho prévues jusqu'à 8% pour Tillabéri confirment les conclusions similaires d'Akumaga et al. (2018) pour la même région. Les études régionales pour l'Afrique de l'Ouest montrent toutefois des pertes de rendement moyennes dans le cadre du changement climatique en raison du réchauffement prévu, que les quantités de précipitations augmentent ou diminuent (Sultan et al., 2013, Raes et al., 2021).

La concordance relativement faible entre les rendements simulés et ceux observés durant la période historique représente une des limites de notre analyse des impacts climatiques à venir sur la production de sorgho. Elle pourrait remettre en question la pertinence de nos résultats. Nous estimons toutefois que toute étude par modélisation rencontrerait probablement le même problème, car plusieurs raisons pourraient être évoquées pour expliquer cette faible corrélation : la qualité des données d'observation, les effets statistiques des moyennes de rendements faibles, la représentation inadéquate de la gestion du sorgho au Niger dans le modèle DSSAT, ou enfin, un impact modeste de la météo sur les rendements en raison d'autres facteurs restrictifs plus imminents (manque de nutriments, concurrence des mauvaises herbes, herbivores, etc.). Consulter aussi la discussion liée à ce sujet dans la partie 3.1.

Résumé du chapitre 3

Ce chapitre a évalué les impacts climatiques sur la production agricole du Niger sous trois angles : la première partie a montré que l'influence de la météo joue un rôle essentiel sur les rendements. Pour le maïs, le millet, le niébé et le sorgho, plus de 50% des variations de rendements observées au niveau national se révèlent être entraînées par les variations météorologiques, le maïs atteignant même une valeur de 83%. Décomposée au niveau infranational, la part de l'influence de la météo sur les variations des rendements diffère entre régions pour toutes les cultures. Cependant, la piètre qualité des données à l'échelle infra-nationale signifie que la prudence est de mise lors de l'interprétation des résultats.

Nos modèles montrent que les zones propices à la production du sorgho et du millet vont augmenter au Niger, tandis que celles vouées à la production du maïs et du niébé vont rester stables dans les conditions du changement climatique jusqu'en 2090. Les raisons de cette augmentation de l'aptitude culturale sont liées aux interactions des changements projetés pour les températures et les précipitations : la hausse des quantités de précipitations excédera la pression d'évaporation des hausses de températures ce qui entraînera des modifications positives pour l'aptitude culturale dans certaines régions. À partir de ces résultats, un potentiel de changement transformationnel a été observé : il est probable que des zones de production du sorgho, du millet, du maïs et du niébé se déplacent. Les projections concernant l'aptitude à la polyculture indiquent un déclin en vertu du scénario d'émissions élevées qui limitera la capacité de diversification ou le transfert de cultures dans le contexte du changement climatique.

Des planifications techniques et politiques nécessaires incluant l'expansion de la production agricole aux régions devenant plus propices aux cultures sont recommandées. Des mesures de sensibilisation et des formations à l'attention des agriculteurs doivent être proposées afin d'accroître leur volonté de produire de nouvelles cultures ou des cultures plus adaptées. La planification de l'adaptation devrait être principalement centrée sur les régions où les projections montrent une baisse de l'aptitude et conçue pour celles-ci. Toutefois, il convient de noter que cette modélisation a tenu compte uniquement des conditions liées aux moyennes des températures et des quantités de précipitations et non des événements extrêmes, tels que les vagues de chaleur ou les inondations qui pourraient avoir des répercussions sur la croissance des cultures. Ainsi, l'interprétation des résultats devrait également prendre en considération la partie sur les événements extrêmes et les variations de rendements.

Enfin, une analyse approfondie des projections de rendement du sorgho dans le cadre de deux scénarios d'émissions (SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0) aux horizons 2030, 2050 et 2090 indique une

augmentation des rendements du sorgho au niveau national vers la fin du siècle. Cette augmentation est plus importante dans le cadre du scénario SSP1-RCP2.6 que dans celui du scénario SSP3-RCP7.0. Dans deux des quatre principales régions productrices de sorgho, à savoir Tillabéri et Niamey, les impacts sur le rendement sont négatifs dans les deux scénarios d'émissions. Cela est principalement dû à l'augmentation des températures extrêmes pendant l'ensemencement et la phase de germination.

Tableau 4 : Récapitulatif des impacts du changement climatique sur la production agricole.

Impacts		Actuellement	Tendance future	Confiance
	**Influence météorologique sur les rendements du sorgho**	Moyenne 54%	-	Forte
	Aptitude au sorgho	Moyenne 6,9%	SSP1-RCP2.6 Augmentation +3,3 to +4,9% SSP3-RCP7.0 Augmentation +5,7 to +8,9%	Forte
	Rendements de sorgho	Faible 0,24-0,5 t/ha	SSP1-RCP2.6 Baisse +15 à +17% SSP3-RCP7.0 Forte baisse +10 à +14%	Moyenne
	**Influence météorologique sur les rendements du millet**	Moyenne 49%	-	Forte
	Aptitude au millet	Moyenne 6,4%	SSP1-RCP2.6 Augmentation +3,5 à +3,8% SSP3-RCP7.0 Augmentation +4,5 à +11,9%	Forte
	**Influence météorologique sur les rendements du niébé**	Moyenne 55%	-	Forte
	Aptitude au niébé	Moyenne 9,8%	SSP1-RCP2.6 Relativement stable +1,2 à 1,5% SSP3-RCP7.0 Relativement stable +2,0 à +4,0%	Forte
	**Influence météorologique sur les rendements du maïs**	Forte 83%	-	Forte
	Aptitude au maïs	Faible à moyenne 1,7%	SSP1-RCP2.6 Relativement stable +1,0 à +2,7% SSP3-RCP7.0 Relativement stable +1,2 à +1,8%	Forte



Chapitre 4 – Impacts climatiques sur la production animale

L'élevage joue un rôle essentiel dans le secteur agricole et en ce qui concerne la sécurité alimentaire et nutritionnelle du Niger. Avec plus de 15 millions de têtes, le Niger possède la plus vaste population de bovins dans la région du Sahel (FAOSTAT, 2019b). Les principales races animales élevées au Niger sont les chèvres, les ovins, les bovins et les poules (FAOSTAT, 2019a). On y trouve couramment, d'après Rhissa (2010), les six systèmes de production suivants : système agro-pastoral, fermes laitières semi-modernes/fermes semi-intensives, système traditionnel réorganisé (où l'élevage des bovins est abandonné et remplacé par les chameaux et les chèvres), système traditionnel amélioré (par ex. les éleveurs de bétail gardent des races de bovins spécifiques et une certaine mobilité), petits producteurs (pour un grand nombre de fermiers, le bétail sert de "banque vivante") et grands propriétaires terriens (bétail détenu par de grands négociants comme biens de sécurité pour des activités commerciales).

Pour comprendre comment le bétail risque d'être affecté par le changement climatique, on peut étudier les variations possibles des disponibilités fourragères en vertu des futurs scénarios d'émissions. Ce chapitre examine les effets du changement climatique sur la productivité herbagère et la production animale basée sur le pâturage au Niger grâce au modèle dynamique global de la végétation LPJmL.

En outre, nous allons évoquer l'impact du changement climatique sur la situation sécuritaire au Niger en examinant en particulier le potentiel de conflit entre les fermiers sédentaires et les éleveurs nomades ainsi que le recrutement des groupes extrémistes présents dans la région.

4.1 Le secteur de l'élevage au Niger

En raison de la sécheresse de son climat et de sa capacité de production agricole limitée, le Niger dépend beaucoup du secteur de l'élevage pour assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle de sa population (Ashley, 2020). D'après des estimations récentes, ce secteur contribue à environ 12% du PIB national et à près de 35% du BIP agricole (Ashley, 2020 ; Enahoro et al., 2019). Treize millions de fermiers (42% de la population) détiennent du bétail pour assurer leurs moyens de subsistance. Il existe différents systèmes de gestion du bétail. La plupart d'entre eux reposent sur une forme de pastoralisme. Parmi ceux-ci, le système agro-pastoral est le plus répandu. Dans les régions arides et semi-arides du Niger, les fermiers se déplacent avec leurs troupeaux à la recherche de pâturages et d'eau. Récemment, des études ont révélé que le secteur de l'élevage nigérien est de plus en plus menacé par divers facteurs tels que l'expansion des terres agricoles, qui entraîne des modifications du système foncier (Catholic Relief Services, 2014),

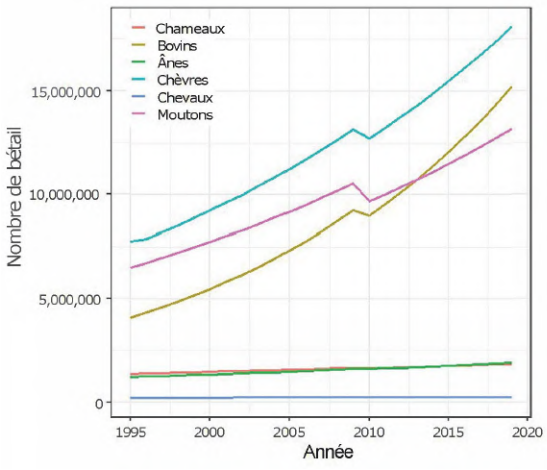


Figure 40 : Tendances du nombre de têtes de bétail au niveau national de 1995-2020.

la croissance démographique et l'urbanisation associées à une hausse considérable de la demande

globale en produits issus de l'élevage, ainsi que le changement climatique (Nwosu et Ogbu, 2011).

Le Niger présente une grande diversité d'animaux ruminants et non-ruminants, les principaux étant les bovins, les ovins et les chèvres. La hausse de la demande en production animale s'accompagne d'une hausse simultanée du nombre de têtes de bétail (bovins, ovins et chèvres) ces dernières décennies (Figure 40).

Une baisse du nombre de ces trois types d'animaux est observée en 2010, probablement en raison des graves sécheresses de 2009 et de 2010 qui ont causé des pertes considérables de bétail (Ickowicz et al., 2012). Dans l'ensemble, les chèvres sont les plus représentées au Niger et présentent un taux de croissance annuel de 3,6%. Le taux de croissance des bovins a beaucoup augmenté après 2010, avec le plus fort taux de croissance affichant ~6%, ce qui fait des bovins le deuxième type de bétail le plus important. Les moutons occupent la troisième place de ce classement au Niger et ont un taux de croissance de 3% depuis 1995. Toutefois, au niveau national, le nombre moyen de têtes de bétail est inégalement réparti sur les différentes régions et provinces du Niger (Figure 41).

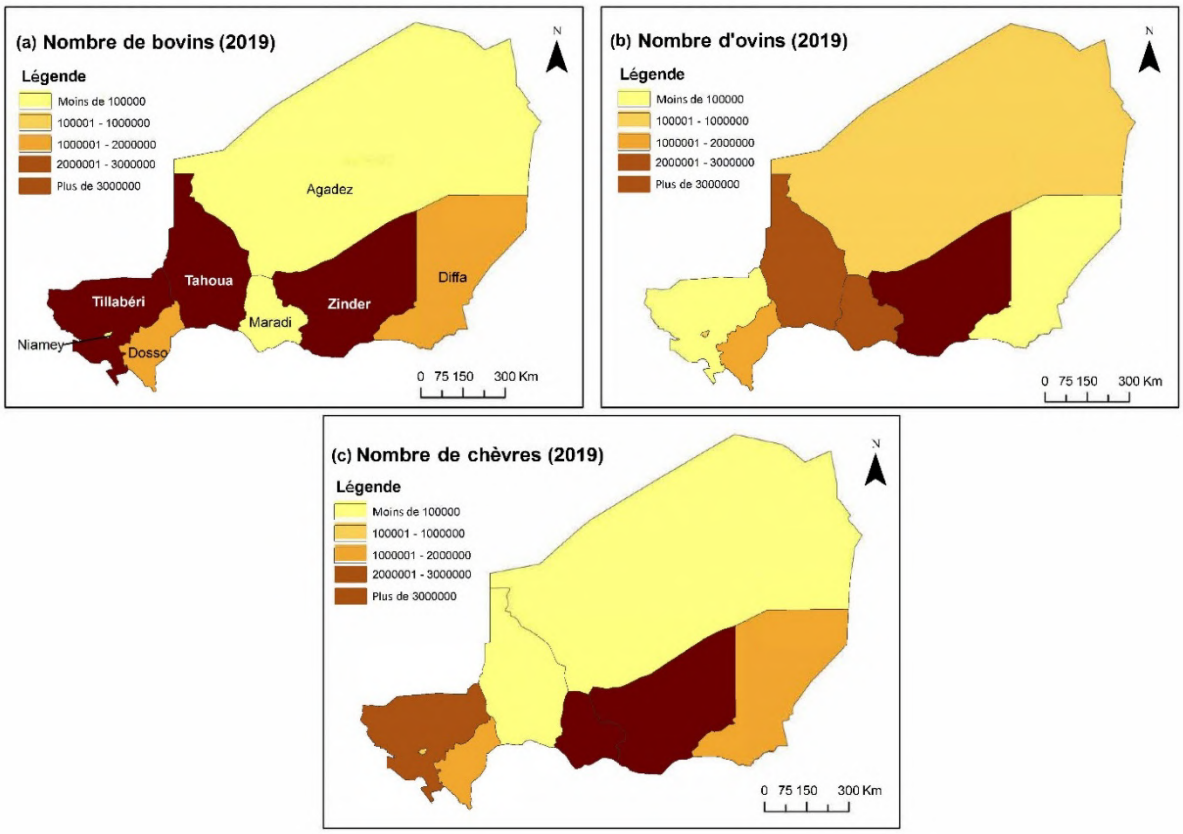


Figure 41 : Répartition spatiale des (a) bovins, (b) ovins et (c) chèvres sur les 36 départements du Niger pour l'année 2019.

Le changement des régimes météorologiques et climatiques devrait entraîner une baisse nette des rendements de céréales, de fourrage et de pâturages pour le bétail ainsi que des modifications au niveau de l'épidémiologie et de la dynamique des maladies, des parasites et des vecteurs affectant le bétail (Mendelsohn et Seo, 2007 ; Rust et Rust, 2013). Les risques climatiques entraînent des pertes dans la production animale de différentes manières. Le changement climatique a déjà des impacts sur le nombre de têtes de bétail, la qualité fourragère et la teneur des pâturages dans la région (Pfeifer et al., 2020). De plus en plus, un manque de fourrage est signalé, limitant la productivité du système d'élevage du fait que les systèmes d'élevage actuels au Niger (sédentaires ou transhumants) dépendent beaucoup de la disponibilité en pâturages et en fourrages. Comme les systèmes

herbagers sont très vulnérables aux fluctuations climatiques (Knauer et al., 2017), il est important de comprendre l'évolution de la productivité herbagère dans le passé et d'estimer la projection de son évolution en vertu des scénarios de changement climatique pour l'avenir. En outre, il est essentiel de saisir les répercussions des disponibilités fourragères futures sur la production animale au Niger.

Le changement climatique comme facteur de conflit au Niger

La violence intercommunautaire et le militantisme extrémiste se sont emparés du Sahel ces dernières années (Amnesty International, 2020 ; Human Rights Watch, 2018 ; International Crisis Group, 2020b ; People´s Coalition for the Sahel, 2021). Tandis que l'instabilité s'est installée au Mali depuis un coup d'État en 2012, les tensions ethniques ont augmenté et la violence a éclaté au Burkina Faso et au Niger, ses pays voisins. Les griefs sous-jacents liés aux vols de bétail et aux conditions socio-économiques ont préparé un terrain favorable au recrutement des groupes extrémistes nés dans le pays, alignés avec Daech et Al Qaida. Les communautés pastorales déjà marginalisées au niveau social sont particulièrement touchées par les conflits intercommunaux (International Crisis Group, 2020).

Les facteurs de conflits classiques, comme les inégalités socio-économiques, la fragmentation ethnique ou le manque de ressources et de capacités gouvernementales sont encore perçus comme ayant davantage d'influence sur le développement de menaces pour la sécurité que le changement climatique même. En outre, l'expansion des terres agricoles sur des zones ayant traditionnellement servi de couloirs de transhumance ainsi que la coexistence des systèmes fonciers traditionnels et modernes ont également été identifiés comme des facteurs de conflits primordiaux (Catholic Relief Services, 2014). Cependant, les spécialistes s'accordent de plus en plus sur l'impact non négligeable du changement climatique sur le développement de conflits armés (Scheffran et al., 2020 ; Kelley et al., 2015 ; Mach et al. 2019 ; Schilling et al., 2010 ; Schleussner et al. 2016 ; Von Uexkull et al., 2016) et sur son rôle de plus en plus renforcé dans la genèse et la prolongation des conflits armés. D'ailleurs, ces facteurs de conflits classiques aggravent les dommages possibles entraînés par les événements extrêmes ou hydrologiques causés par le changement climatique. Par exemple, en raison de leurs impacts négatifs sur l'approvisionnement alimentaire, les sécheresses représentent un potentiel de conflit considérable (Von Uexkull et al., 2016). Le niveau de dépendance élevé d'une grande partie de la population par rapport à l'agriculture représente un risque supplémentaire, car les répercussions du changement climatique sur l'agriculture menacent directement l'existence de grands groupes de populations, ce qui pourrait les forcer à l'émigration (Kelley et al., 2015). Les groupes déjà marginalisés sont exposés à des risques supplémentaires dans les situations de conflits en raison des inégalités structurelles existantes.

Si de nombreux facteurs de conflits traditionnels entrent en jeu dans les problèmes de sécurité actuels au Niger, le changement climatique déjà visible représente un autre facteur aggravant aux tensions existantes. Fortement exposé aux impacts du changement climatique, le pays présente une faible capacité d'adaptation. Les fermiers et les éleveurs sont les premiers à ressentir ces impacts et à en faire le plus les frais, touchés par l'insécurité alimentaire et la perte progressive de leurs moyens de subsistance. Le secteur agricole fournit des moyens de subsistance à 80% de la population. En outre, ce secteur repose massivement sur l'agriculture pluviale et s'organise essentiellement autour de l'agriculture et de l'élevage de subsistance (Tomalka et al., 2020). Une hausse des températures entraînerait un stress thermique et des risques pour la santé, en particulier dans les secteurs très exposés de l'agriculture et de la construction, ce qui aurait des répercussions négatives sur la sécurité humaine (International Labour Organisation, 2019). De plus, des régimes de plus en plus fréquents de sécheresse et d'inondations auraient une incidence néfaste sur ces deux secteurs qui dépendent l'un de l'autre. Si le pastoralisme nomade représente une option viable face aux conditions climatiques locales déjà difficiles, le changement des régimes de précipitations remet de plus en plus en question la transhumance annuelle (Kiema et al., 2015). Comme le Niger dépend également beaucoup de l'agriculture pluviale, ces développements climatiques agissent tel un facteur de stress supplémentaire sur les moyens de subsistance de la population.

Pour les éleveurs, qui sont de plus en plus vulnérables aux recrutements des groupes extrémistes, cela représente non seulement une menace

pour leurs moyens de subsistance mais aussi pour leur identité de groupe, intrinsèquement liée au pastoralisme et à la transhumance. La plupart des recrutements accomplis au nom de ces acteurs extrémistes armés non étatiques sont réalisés dans la population locale (International Crisis Group, 2020 ; Human Rights Watch, 2018). Les plus marginalisés sont particulièrement vulnérables aux efforts de recrutement, les éleveurs de bétail en première ligne. En raison de leur mode de vie nomade à semi-nomade, les éleveurs pastoraux sont particulièrement sensibles aux impacts climatiques, car non seulement ils dépendent des précipitations, mais ils suivent en outre la pluie lors de leur transhumance annuelle (Traore et Owiyo, 2013). Sur leur chemin, ils rencontrent des agriculteurs locaux ainsi que d'autres éleveurs pastoraux. Si ces relations peuvent être basées sur la coopération, des modifications des régimes de précipitations peuvent aussi signifier la modification de leurs trajets dans leur quête de pluie et de pâturages. Les relations avec des agriculteurs de groupes ethniques probablement différents doivent donc être établies, ce qui peut être source de conflits, surtout durant la période de croissance (Von Uexkull et al., 2016). Des rapports d'ONG montrent qu'au Niger ainsi qu'au Burkina Faso et au Mali environnants, les éleveurs pastoraux sont inextricablement liés à la récente instabilité (Benjaminsen et Ba, 2019 ; Human Rights Watch, 2018 ; International Crisis Group, 2020). Le vol de bétail subi par différents groupes pastoraux est un facteur aggravant, source de griefs, tout comme le sont les relations intercommunautaires entre agriculteurs et éleveurs pastoraux et les abus commis par les militaires visant ces mêmes éleveurs. Aussi, l'impunité vis-à-vis des vols de bétail et la brutalité de la réponse des forces de sécurité sèment la méfiance entre les communautés (International Crisis Group, 2020).

Outre les tensions intercommunautaires, les enjeux sécuritaires du Niger se manifestent sous trois formes : l'instabilité due à la présence de groupes extrémistes et du banditisme dans la région du Tillabéri à l'ouest, l'instabilité due aux groupes extrémistes dans la région frontalière du lac Tchad vers le sud-est, et enfin les trafics et le banditisme sévissant à la plateforme de transit migratoire d'Agadez vers le centre nord moins peuplé. Tandis que les deux régions frontalières luttent contre le déferlement de groupes extrémistes d'origine locale ou de notoriété internationale, la ville et le département d'Agadez sont principalement confrontés aux trafics, car ces lieux font office de centre de transit pour les migrants dirigés vers la Libye, l'Algérie ou l'Europe (Molenaar et al., 2017).

Étant donné la complexité de l'état de la sécurité dans le pays couplée à une faible capacité d'adaptation aux effets du changement climatique, les impacts du changement climatique sur le développement de conflits violents requièrent une analyse plus poussée. Celle-ci permettra aux décideurs et aux organisations de mise en œuvre d'identifier les solutions les plus adéquates tenant compte des conflits pour l'adaptation climatique au Niger. Ces mesures sont nécessaires en particulier dans le secteur agricole, qui est capital, et devraient se concentrer spécifiquement sur les groupes déjà marginalisés. Réalisées correctement, elles pourraient favoriser la transformation des relations intercommunautaires en renforçant l'égalité socio-économique. L'État islamique constitue une menace pour la sécurité au Niger et dans toute la région. En outre, cette organisation a pris place comme une alternative aux structures étatiques existantes, procurant des services gouvernementaux aux communautés. En raison de la vulnérabilité des éleveurs pastoraux en particulier, il faudrait accorder plus d'attention à l'identification et au renforcement des voies de transhumance, ainsi qu'aux points de ravitaillement en fourrage et en eau sur les trajets. Pour ce qui est des relations intercommunautaires, le vol de bétail reste l'un des enjeux principaux. Compte tenu des problèmes et des retards liés à l'exécution de la justice, les forces de sécurité devraient s'occuper davantage de la question de ce type de pillage afin d'améliorer la confiance des communautés pastorales.

4.2 Données et méthode

Notre approche pour évaluer les impacts du changement climatique sur la productivité herbagère et donc sur la production animale basée sur le pâturage au Niger repose sur le modèle dynamique global de la végétation LPJmL (Lund-Potsdam-Jena with managed land), conçu principalement au PIK (Schaphoff et al., 2018 ; Von Bloh et al., 2018). Le modèle dynamique global de la végétation LPJmL, basé sur les processus, simule les mécanismes écosystémiques essentiels tels que la photosynthèse, la respiration des plantes et des sols, la répartition du carbone, l'évapotranspiration et la phénologie de la végétation naturelle et gérée, logiquement reliés par leurs flux de carbone, d'eau et d'azote (Schaphoff et al., 2018 ; Von Bloh et al., 2018). Les modèles dynamiques globaux de la végétation servent souvent à étudier les effets du changement climatique sur la couverture végétale. En outre, LPJmL fournit une représentation de différents schémas de gestion des pâturages, qui lui permettent de simuler les impacts du pâturage, les intensités du pâturage et les systèmes de fauchage dans les prairies gérées (Rolinski et al., 2018). D'autres sources de fourrages pour les animaux comme les résidus agricoles ou les plantes fourragères ne sont pas analysées. S'appuyant sur la résolution spatiale des données climatiques, le modèle simule la surface terrestre par un fin quadrillage de cellules de 0,5° x 0,5° soit approximativement 55 km x 55 km.

Les besoins fourragers quotidiens varient suivant l'espèce animale. Pour pouvoir les comparer, les types d'animaux peuvent être convertis en Unités de bétail tropical (UBT) en utilisant les facteurs de conversion du Tableau 5. On considère un besoin journalier de 6,25 kg de matière sèche par UBT (MRAH, 2020), et dans l'analyse suivante, on ne fait pas de distinction entre les différents types d'animaux.

Dans les simulations modélisées, l'impact du pâturage par le bétail est représenté par la suppression journalière partielle de la biomasse foliaire des graminées. On estime que le pâturage laisse toujours une hauteur de chaume minimale d'environ 1 cm. Du point de vue de la demande, la quantité de biomasse retirée dépend de la densité des animaux de pâturage (nombre d'UBT par hectare). Sur le plan de l'offre, la biomasse disponible varie suivant les saisons et les années en fonction de la météo et du pâturage antécédent. On ne dispose pas de données spatiales ou temporelles explicites rendant compte de la densité réelle du pâturage d'élevage au Niger pour la période historique. De ce fait, nous testons systématiquement une fourchette de densités de cheptel (entre 0 et 5 UBT/ha) et sélectionnons dans chaque cellule et pour chaque année la densité de cheptel produisant le rendement annuel d'herbages le plus élevé. Cette approche est conçue pour estimer la densité maximale de cheptel évitant le surpâturage et représentant un potentiel de pâturage. La figure 42 illustre cette procédure dans le cas d'une cellule pour une année. Il faut noter que l'offre en pâturages ne répond pas nécessairement à la demande de la densité de cheptel sélectionnée (1,0 UBT/ha dans l'exemple) à tout moment de l'année.

Tableau 5 : Facteurs de conversion en Unités de bétail tropical (UBT) pour les différents types d'animaux.

Espèces animales d'élevage	Nombre d'UBT
Bovins	0,8
Ovins	0,15
Chèvres	0,15
Asins	0,5
Chameaux	1
Chevaux	1

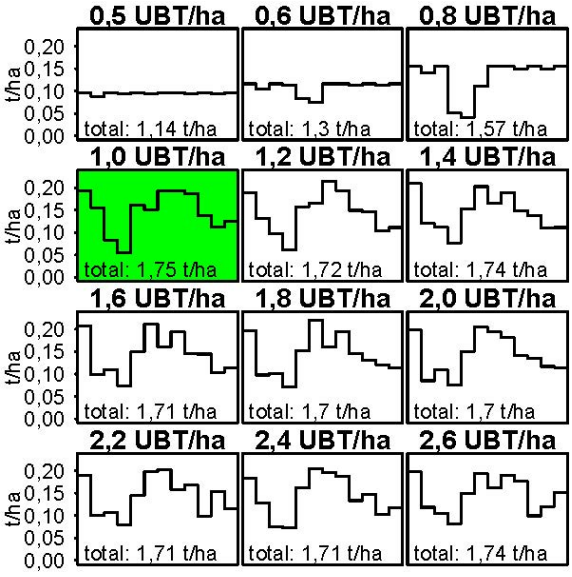


Figure 42 : Rendements des herbages annuels suivant différentes densités de cheptel dans une cellule et en une année ; la densité de bétail au rendement annuel le plus élevé est considérée comme potentiel de pâturage (marquée en vert dans la cellule).

Lors de la transposition à l'échelle régionale ou nationale des niveaux de rendements par cellule, toute terre qui n'est pas terre cultivable dans une cellule est considérée comme potentiellement disponible en pâturages. Ainsi, les cellules dont la part de terres cultivables est élevée contribuent moins à la moyenne régionale ou nationale que les cellules dépourvues de terres cultivables. Les cartes des terres cultivables proviennent de l'ensemble de données LUH2 qui fournit une chronologie de cartes quadrillées annuelles de l'utilisation des sols conformes aux zones d'utilisation des sols à l'échelle nationale déclarées dans la base de données FAOSTAT (Hurtt et al., 2020). Des simulations des potentiels de pâturages passés et futurs sont fondées sur les dix modèles climatiques mondiaux (MCM) et les deux scénarios d'émissions présentés au chapitre 1. De même, les variations à venir concernant le potentiel de pâturage annuel sont présentées pour les trois intervalles temporels sélectionnés : 2030 (2021–2040), 2050 (2041–2060), et 2090 (2081–2100) en comparaison à la période historique de 1995 à 2014.

4.3 Résultats

4.3.1 Potentiels de pâturage dans le passé

La figure 43 montre la médiane de l'ensemble multi-modèles du potentiel de pâturage annuel pour la période historique de 1995 à 2014. Les potentiels de pâturage les plus élevés se trouvent dans la région de Dosso : ils dépassent 2,5 t de matière sèche par hectare et par an le long de la frontière avec le Bénin. Les potentiels de pâturage diminuent vers le nord au fur et à mesure que baisse le gradient de précipitations au travers du Niger. Les potentiels de pâturage les plus faibles se trouvent dans la région d'Agadez, atteignant presque une valeur nulle dans les régions désertiques. Outre les disparités territoriales, le potentiel de pâturage varie considérablement au fil des saisons et des années, comme le montre la figure 44 sur le potentiel de pâturage mensuel dans les huit régions du Niger. Dans cette figure, le gradient coloré de vert clair à vert foncé montre la variabilité sur les dix MCM et sur 20 années, constituant la médiane de l'ensemble multi-modèles. Même dans les régions les plus productives de Dosso et de Maradi, la différence entre le potentiel de pâturage à la saison sèche et à la saison humide est bien marquée. Comme les ruminants ont une consommation relativement constante de fourrages, un apport fourrager supplémentaire issu d'autres sources comme les résidus végétaux serait nécessaire pendant la saison sèche afin d'utiliser le potentiel de pâturage maximum annuel.

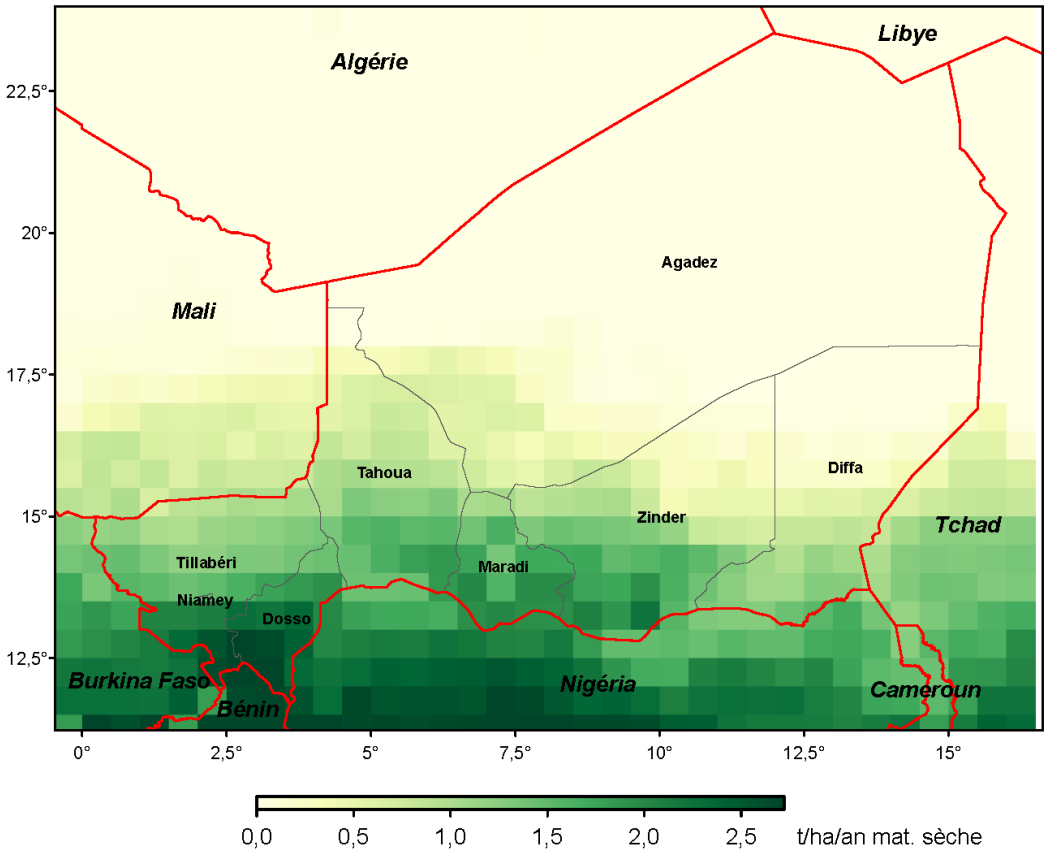


Figure 43 : Médiane de l'ensemble multi-modèles du potentiel de pâturage annuel simulé pour la période historique de 1995 à 2014 au Niger.

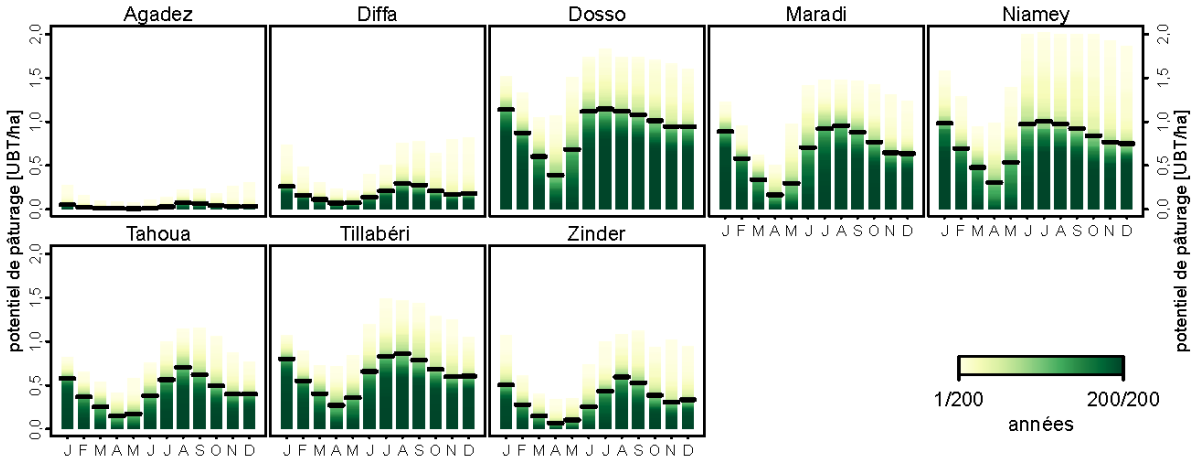


Figure 44 : Variabilité du potentiel de pâturage passé au cours d'une année et sur plusieurs années dans l'ensemble multi-modèle observant la période historique. Chaque barre représente la fourchette du potentiel de pâturage mensuel suivant les dix MCM sur un intervalle de 20 années. Les couleurs plus claires indiquent des valeurs élevées atteintes dans seulement quelques régions au cours de certains mois.

4.3.2 Changements projetés à long terme

Si l'on observe les projections sur les changements à venir touchant les potentiels de pâturage au cours du 21e siècle, on ne constate pas de tendance claire et uniforme pour le Niger. En vertu du scénario de réduction des émissions SSP1-RCP2.6, la médiane de l'ensemble multi-modèles devrait baisser d'environ 3% au-dessous du potentiel de pâturage historique d'ici à 2030 (Figure 45), la fourchette globale des modèles se situant entre -19% et +19%, et six modèles climatiques mondiaux indiquent une hausse tandis que les quatre autres indiquent un déclin. Les potentiels de pâturage augmentent d'environ 6% par rapport à la période historique d'ici à 2050, avec une fourchette encore plus large de -19% à +34%, et trois modèles climatiques mondiaux projettent encore un déclin par rapport à la période historique. Les potentiels de pâturage devraient également à nouveau baisser de 5% en dessous des niveaux historiques d'ici à 2090 dans la médiane de l'ensemble multi-modèles, mais la fourchette des modèles climatiques mondiaux continue d'augmenter. En vertu du scénario SSP3-RCP7.0, la médiane de l'ensemble multi-modèles montre une croissance des potentiels de pâturage au cours du 21e siècle, allant de +20% en 2030 à +17% en 2050 et à +57% en 2090. En ce qui concerne le changement d'un point de vue général, le consensus entre les modèles climatiques est très élevé, seul un modèle projette une baisse des potentiels de pâturage d'ici à 2050. Cependant, les modèles présentent une grande marge d'incertitude pour ce qui est de l'ampleur de la hausse du potentiel de pâturage.

L'agrégation des données à l'échelle nationale présentée à la figure 45 dissimule des écarts importants au niveau régional. Cela devient évident lorsque l'on observe la figure 46. D'après les projections, les régions de Dosso et de Maradi, qui sont les plus productives, devraient subir des pertes d'environ 10 à 12% d'ici à 2030, de 14% d'ici à 2050 et de près de 20% d'ici à 2090 en vertu

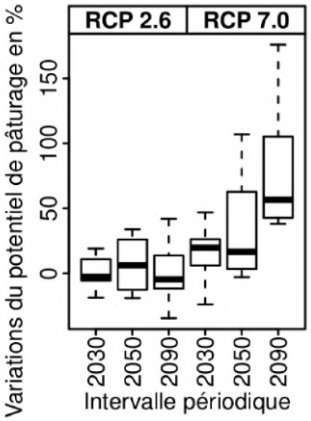


Figure 45 : Variations du potentiel de pâturage annuel au niveau national en vertu des deux scénarios d'émissions et des trois intervalles chronologiques. Les boîtes à moustaches montrent l'étendue des dix modèles climatiques mondiaux.

de SSP1-RCP2.6. Le consensus entre les MCM est très élevé concernant le changement, mais l'incertitude est considérable pour ce qui est de l'ampleur des changements. Tandis que la médiane de l'ensemble multi-modèles montre des tendances légèrement positives pour les potentiels de pâturage dans les régions de Tahoua et de Zinder d'ici à 2050, trois à six MCM projettent une tendance négative dans ces mêmes régions. Le consensus entre les MCM est "moyen" à "élevé" sur l e changement positif du potentiel de pâturage dans les régions d'Agadez et de Diffa. La moyenne de l'ensemble multi-modèles indique une hausse de 23% par rapport à la période historique à Diffa et de 86% à Agadez d'ici à 2050. La tendance s'inverse positivement dans la seconde moitié du 21e siècle, mais les potentiels de pâturage restent encore 4% et 41% supérieurs aux niveaux historiques d'ici à 2090.

Les projections pour les régions de Dosso et de Maradi indiquent également une baisse du potentiel de pâturage en vertu de SSP3-RCP7.0 (Figure 46, colonne de droite), même si la perte est moins importante qu'en vertu de SSP1-RCP2.6. D'ici à 2090, six MCM sur dix s'accordent sur une légère augmentation du potentiel de pâturage à Maradi. Le consensus entre MCM est "moyen" à "très élevé" sur les tendances positives concernant les potentiels de pâturage à Tillabéri, et un consensus est très élevé sur les tendances positives concernant les potentiels de pâturage dans les régions restantes, à savoir celles d'Agadez, de Diffa, de Tahoua et de Zinder au cours du 21e siècle.

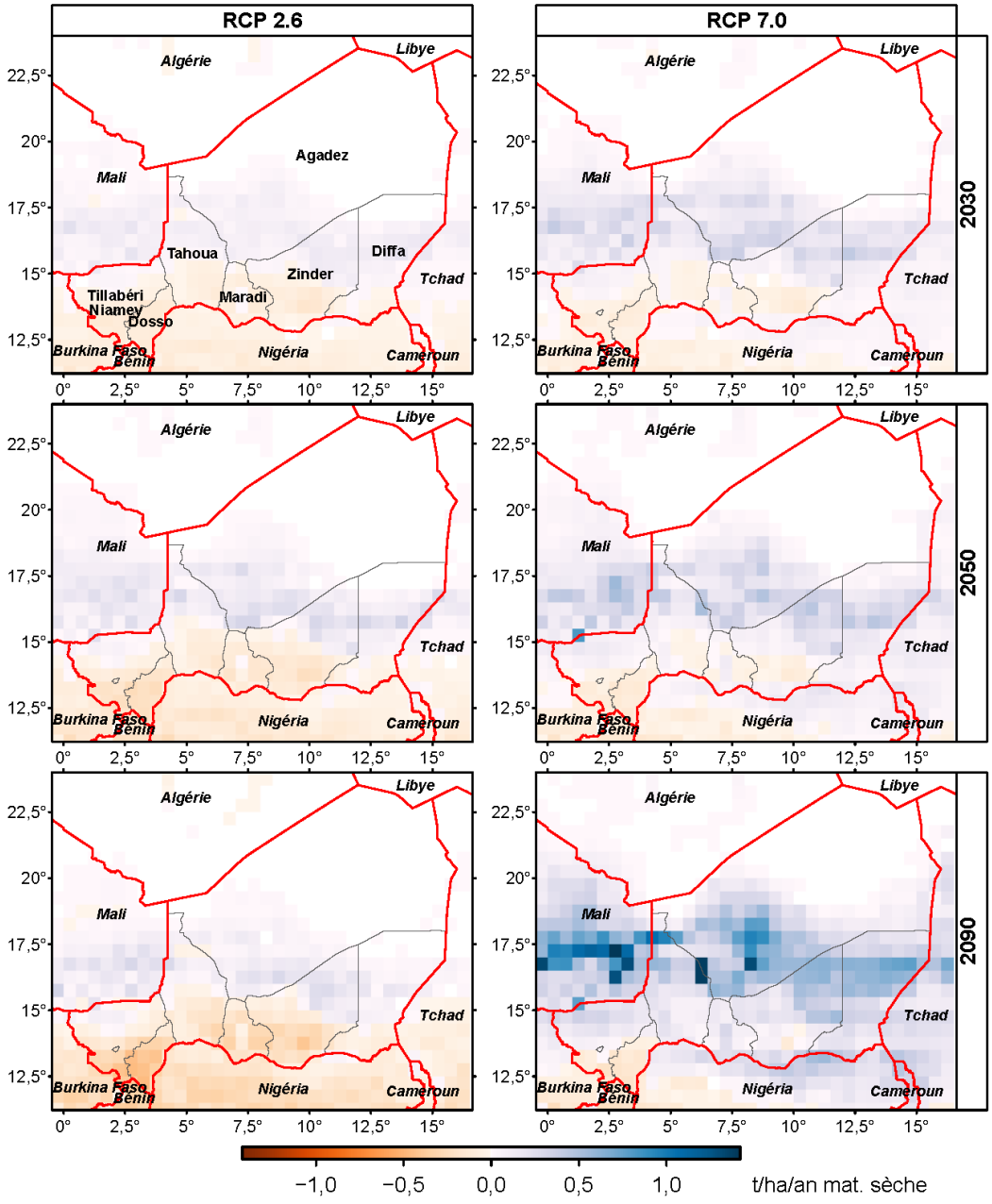
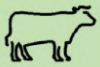


Figure 46 : Médiane de l'ensemble multi-modèles du changement du potentiel de pâturage annuel à trois périodes (2030 en haut, 2050 au milieu, 2090 en bas) et selon deux scénarios d'émissions (SSP1-RCP2.6 à gauche et SSP3-RCP7.0 à droite). Les changements sont mesurés par rapport à la période historique indiquée à la Figure 43.

Résumé du chapitre 4

Ce chapitre a analysé les conséquences du changement climatique sur le secteur de l'élevage dans le but de saisir les dynamiques spatio-temporelles sur le nombre de têtes de bétail et la productivité herbagère afin d'évaluer la capacité herbagère actuelle et à venir destinée au bétail. Une analyse détaillée des variations du nombre de têtes de bétail au Niger a été présentée, suivie d'une analyse des changements au niveau de la productivité herbagère et de leurs répercussions sur les disponibilités fourragères futures destinées à la production animale en vertu des deux scénarios de changement climatique pour l'avenir (SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0). Les résultats suggèrent une absence de tendance claire au niveau des disponibilités fourragères et du potentiel de pâturage pour l'avenir au Niger. En vertu des deux scénarios d'émissions, on observe une légère tendance à la baisse pour le sud et une légère tendance à la hausse pour les zones centrales du pays d'ici à 2050. D'ici à 2090, les projections indiquent une hausse du potentiel de pâturage en vertu du scénario d'émissions élevées pour l'ensemble du pays avec des effets assez forts projetés pour le centre du pays.

Tableau 6 : Impacts climatiques sur la production animale.

Impacts		Tendance passée	Tendance future	Confiance
	**Nombre de têtes de bétail**	Augmentation	- pas de données -	-
	**Disponibilités fourragères, potentiel de pâturage**	Baisse	SSP1-RCP2.6 Baisse (sud) et augmentation (centre) SSP3-RCP7.0 Augmentation vers la fin du siècle 	Élevée



PARTIE II – ADAPTATION

La première partie de l'analyse complète des risques climatiques s'est concentrée sur la dimension des impacts, en commençant par les impacts climatiques sur la température et les précipitations, pour passer ensuite aux impacts sur la disponibilité de l'eau et, enfin, examiner les impacts sur la production végétale et animale. Dans la deuxième partie de l'étude, ces résultats serviront de base à l'évaluation de quatre stratégies d'adaptation sélectionnées dans le contexte du secteur agricole du Niger. Les quatre stratégies d'adaptation - à savoir l'irrigation pour l'agriculture de contre-saison, la gestion intégrée de la fertilité des sols, l'agroforesterie et la régénération naturelle gérée par les agriculteurs (RNA), et la gestion améliorée des fourrages et des pâturages - ont été soigneusement sélectionnées sur la base de consultations approfondies avec un large éventail de parties prenantes nigériennes et d'experts locaux. En outre, ils s'appuient sur les enseignements tirés de la contribution nationale du Niger (CND), du programme d'action national d'adaptation (PANA) et de la stratégie et du plan nationaux d'adaptation de l'agriculture au changement climatique (SPN2A).

Dans sa CDN, le Niger met en avant le secteur AFOLU (agriculture, foresterie et autres utilisations des terres) comme l'un des deux secteurs prioritaires, l'autre étant l'énergie (Republic of Niger, 2015). L'adaptation dans le secteur AFOLU est censée suivre une approche d'agriculture intelligente face au climat et, entre autres mesures, exploiter le potentiel inexploité de l'irrigation dans la vallée du fleuve Niger, qui est particulièrement important pour l'expansion de la production de riz (Republic of Niger, 2015). Le PANA souligne l'exposition du secteur agricole aux effets de la variabilité et du changement climatique (Republic of Niger, 2006). Il classe le secteur agricole comme l'un des huit secteurs les plus vulnérables du pays, parmi l'élevage, la foresterie, les ressources en eau, la faune, la pêche, la santé et les zones humides, qui sont tous interconnectés et dépendent les uns des autres. Par conséquent, le PANA du Niger reconnaît l'importance de l'adaptation au changement climatique, en identifiant 14 objectifs d'adaptation, dont neuf sont directement liés à la production végétale et animale, par exemple l'intensification de l'irrigation ou le passage à des types de cultures qui peuvent mieux s'adapter à un climat changeant (Republic of Niger, 2006).

Le SPN2A (République du Niger, 2020) est l'un des derniers plans stratégiques nationaux visant spécifiquement la vulnérabilité du secteur agricole et agroalimentaire au changement climatique. Il souligne la nécessité de réhabiliter et de préserver le potentiel productif des agro-écosystèmes, en favorisant une gestion durable des ressources naturelles en sol, en eau et en biomasse végétale, et en assurant la protection des écosystèmes vulnérables (République du Niger, 2020). Le Plan de développement économique et social du pays identifie la sécurité alimentaire et le développement agricole durable comme l'un des onze domaines programmatiques et souligne que la sécurité alimentaire et nutritionnelle ainsi que l'adaptation des systèmes de production agricole au changement climatique sont des défis majeurs (Ministère du Plan du Niger, 2017b). De la même manière, le Cadre Stratégique de la Gestion Durable des Terres (CS-GDT) au Niger et son plan d'investissement 2015-2029 met en avant le développement et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation pour le secteur agricole et les populations rurales vulnérables en particulier (Ministere de L'environnement, de la Salubrite Urbaine et du Developpement Durable, 2014).

Chapitre 5 – Méthodes et données pour l'évaluation de l'adaptation

Les effets du changement climatique sur l'agriculture ayant été établis, les quatre stratégies d'adaptation choisies sont maintenant évaluées suivant différents critères afin de faciliter l'élaboration de politiques et de définir des recommandations pour les investissements nécessaires à l'adaptation sur le terrain. Les stratégies d'adaptation examinées ont été sélectionnées en se basant sur les priorités visées par la politique nationale, sur l'intérêt des parties prenantes et en tenant compte des résultats de l'analyse des impacts climatiques décrits dans la partie I de cette étude. Une analyse multicritère a ensuite été appliquée à l'aide de huit indicateurs d'évaluation. L'ensemble de l'évaluation repose sur trois piliers : une méthode de modélisation, la revue de la littérature et le savoir local recueilli au cours d'ateliers réunissant des acteurs, d'entretiens avec des spécialistes et par la collecte de données auprès des ménages.

Pour assurer la pertinence de nos résultats à l'attention des décideurs ainsi qu'un engagement constant des spécialistes et des acteurs locaux malgré les restrictions de voyages subies par les scientifiques du PIK dues à la pandémie de Covid-19, nous avons collaboré étroitement avec une organisation partenaire régionale tout le long de l'étude : le Centre Ouest Africain de Service Scientifique sur le Changement Climatique et l'Utilisation Adaptée des Terres (WASCAL). La section suivante décrit plus en détail les méthodes appliquées pour choisir et évaluer les stratégies d'adaptation.

5.1 Selection of adaptation strategies

La sélection des stratégies d'adaptation constituait la première étape de l'analyse. Afin de renforcer la pertinence de cette étude pour l'élaboration de politiques, le processus de sélection a été soigneusement réalisé pour s'accorder au mieux avec les priorités locales et les intérêts des différents acteurs représentatifs du gouvernement, des universités, du secteur privé et de la société civile. Comme les résultats de cette étude visent à informer la politique d'adaptation, à promouvoir les actions d'adaptation et à soutenir la mise en œuvre des stratégies d'adaptation sur le terrain, l'accent a été mis en particulier sur la participation des acteurs pertinents dans un processus d'apprentissage continu et d'ajustement collaboratif. Cela été accompli en différentes étapes de participation, notamment grâce à des ateliers pour les acteurs, des consultations de spécialistes, la validation de décisions et des échanges entre acteurs au niveau local, des études d'experts, des entretiens avec des agriculteurs, ainsi qu'une présentation finale et la validation des résultats.

Durant la première phase de ce processus, un atelier pour les acteurs concernés a été organisé à Niamey en juin 2020. Il a réuni des participants issus du gouvernement, du monde universitaire, de la société civile et des organisations de développement spécialisés dans le changement climatique, l'agriculture, l'élevage, la foresterie, la gestion de l'eau et le développement. En raison de la situation sanitaire et des restrictions de voyages internationales dues à la pandémie de Covid-19, l'atelier organisé par WASCAL s'est tenu sur plusieurs journées, en invitant un nombre limité de participants quotidiennement et en imposant des règles d'hygiène et de distanciation strictes. Chaque jour, depuis l'Allemagne, les scientifiques du PIK rejoignaient virtuellement l'atelier pour une durée de deux heures afin de participer aux débats. Malgré ces circonstances difficiles, 46 acteurs au total ont pu participer à l'atelier. Les objectifs principaux consistaient à introduire l'approche de l'étude, à débattre des éléments essentiels de son élaboration et à assurer une compréhension commune

de sa pertinence. En outre, l'atelier servait à discuter et à définir quatre stratégies d'adaptation prioritaires à inclure dans l'étude. À cet effet, une liste initiale constituée de stratégies d'adaptation possibles fut présentée aux acteurs locaux dont ils purent discuter en groupe pour en dégager des stratégies prioritaires au cours d'un exercice final de sélection.

Les CDN et le PANA du Niger ainsi que le rapport officiel soutenant la formulation concertée de la SPN2A (Hauswirth et al., 2020) ont servi de point de départ à l'élaboration de la liste des stratégies d'adaptation possibles. Les auteurs de cette étude ont effectué une sélection préalable des stratégies d'adaptation en accord avec les risques climatiques identifiés, avec l'objectif de cette analyse (liée à l'agriculture et à l'élevage) et adaptées à l'analyse de nos modèles culturaux et économiques. Cela a permis d'établir une liste de huit stratégies d'adaptation potentielles parmi lesquelles les acteurs ont choisi quatre stratégies prioritaires à inclure dans l'analyse (Figure 47).

Sur l'ensemble des documents, le terme "stratégie d'adaptation" a été employé à différents degrés de spécification. Pour la longue liste de stratégies d'adaptation et le processus de hiérarchisation avec les acteurs, nous avons inclus plusieurs technologies spécifiques sous des termes génériques. Par exemple, le terme "gestion intégrée de la fertilité des sols" a été défini pour englober une technologie spécifique unique ou une combinaison de technologies visant à la conservation des sols, comme l'utilisation de compost, la réalisation de trous de "tassa" (ou zaï), de demi-lunes, de cordons pierreux ou de bassins d'infiltration. Cela a permis d'assurer que les priorités des acteurs soient d'abord retenues en tenant compte des domaines problématiques d'ordre général et non pas suivant les préférences accordées aux technologies spécifiques disponibles dans les domaines en question. Les acteurs ont été invités à discuter en petits groupes des pratiques actuelles, de l'état des connaissances et du potentiel relatifs à chaque stratégie d'adaptation dans le contexte du Niger, avant de voter individuellement pour les quatre stratégies considérées comme les plus pertinentes pour l'analyse. Une présélection fut réalisée à partir de la revue de la littérature des stratégies nationales telles que le document des CDN. Une fois le processus de sélection effectué, les quatre stratégies d'adaptation ont été plus amplement définies avec l'aide de WASCAL en recourant à des interventions concrètes inclues dans les stratégies d'adaptation générales pour réaliser l'analyse modélisée. Les quatre stratégies d'adaptation finales sont :

- l'irrigation pour l'agriculture de contre-saison
- la gestion intégrée de la fertilité des sols
- l'agroforesterie et la régénération naturelle des arbres gérée par les agriculteurs
- la gestion améliorée du fourrage et des pâturages.

Ces quatre stratégies seront évaluées individuellement dans les chapitres 7 à 10, après la présentation des huit critères d'évaluation effectuée dans la partie suivante.

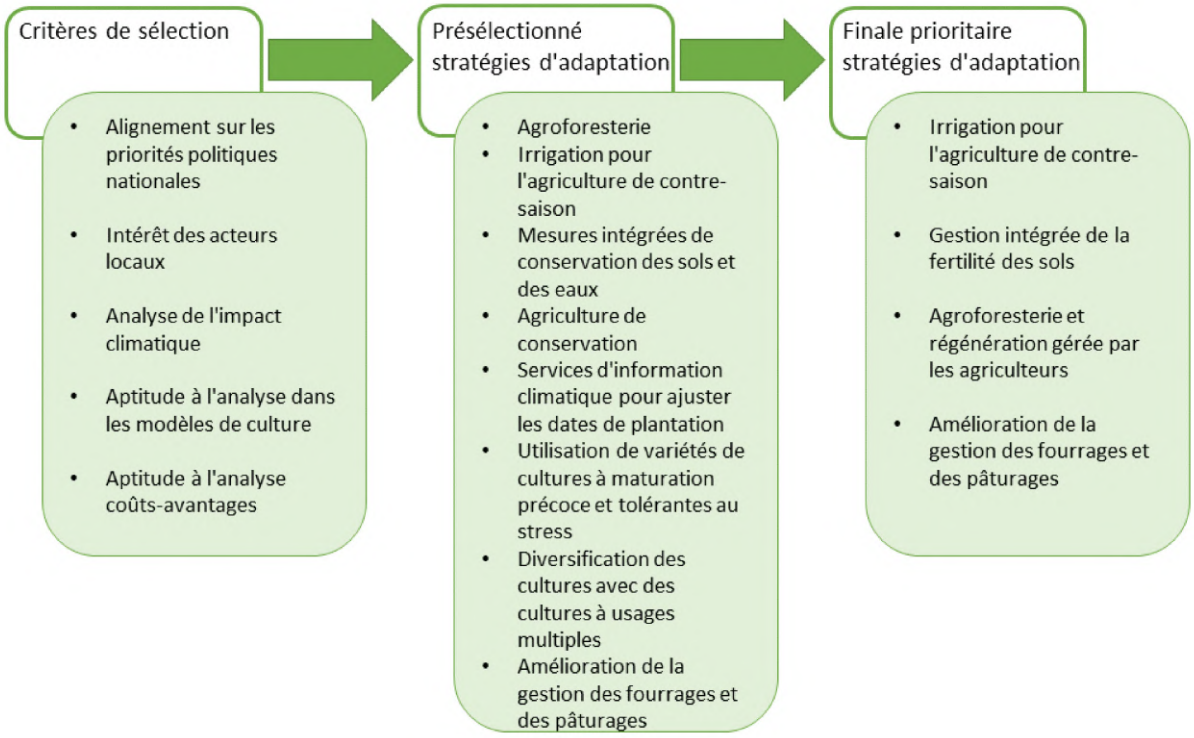


Figure 47 : Aperçu du processus de sélection des stratégies d'adaptation évaluées dans l'étude.

5.2 Évaluation multicritère des stratégies d'adaptation

Les stratégies d'adaptation sélectionnées ont été soumises à une évaluation approfondie basée sur une approche de méthodes mixtes reposant sur les huit critères suivants :

1. **Potentiel d'atténuation des risques :** Un des critères d'évaluation clé pour les stratégies d'adaptation est leur potentiel à atténuer les risques climatiques, c'est-à-dire à réduire les pertes de rendements à cause du changement climatique. Cette évaluation est basée sur les résultats du modèle cultural.
2. **Gradient de risque (indépendance vis-à-vis des risques et spécificité au risque)** : Les stratégies d'adaptation peuvent se révéler utiles même en l'absence de changement climatique. L'indépendance vis-à-vis des risques est importante, surtout en cas d'incertitude concernant les futurs impacts liés au changement climatique. Les stratégies spécifiques à un risque ne sont bénéfiques que si les impacts climatiques projetés surviennent vraiment. L'évaluation du gradient de risque est basée sur les résultats du modèle cultural.
3. **Rapport coût-efficacité** : Une analyse coûts-avantages au niveau d'une exploitation agricole fournit des informations sur les coûts et le rapport coût-efficacité des différentes stratégies d'adaptation en fonction du scénario d'émissions.
4. **Potentiel de développement** : Pour ce critère, nous examinons dans quelle mesure différentes stratégies d'adaptation peuvent être appliquées au Niger, en fonction de la stratégie actuelle adoptée et de l'opinion des spécialistes.
5. **Avantages conjoints potentiels** : De nombreuses stratégies d'adaptation ne permettent pas seulement d'ajuster les systèmes pour affronter les risques climatiques, elles présentent aussi d'autres avantages conjoints potentiels comme la réduction d'inégalités socio-économiques ou sexospécifiques, des avantages environnementaux ou la création de nouvelles opportunités commerciales.
6. **Répercussions négatives potentielles** : Certaines stratégies d'adaptation peuvent également entraîner des effets non souhaités sur la

société, le climat et l'environnement, qu'il faut prendre en compte pour réaliser une évaluation approfondie et qui sont discutés dans le cadre de cet indicateur.

7. **Obstacles à la mise en œuvre** : Les obstacles potentiels à l'adoption d'une stratégie d'adaptation et les solutions possibles sont au centre de la réflexion.
8. **Besoins en matière de soutien institutionnel** : Si toutes les stratégies d'adaptation profitent d'un environnement favorable généré par un soutien institutionnel, la quantité de soutien requis diffère. Il est possible de faire une distinction entre les stratégies nécessitant généralement un fort soutien institutionnel et celles pouvant être initiées par les agriculteurs eux-mêmes (menées par les institutions ou autonomes).

Les critères 1 à 3 sont évalués à partir de nos modèles culturaux et économiques, tandis que les critères 1 et 4 à 8 sont évalués à partir de la revue de la littérature, des consultations de spécialistes et des entretiens avec les agriculteurs. Dans les sous-chapitres suivants, nous décrirons la méthode appliquée pour les critères 1 et 2 en utilisant des modèles culturaux. Ensuite suivra une description de la méthode pour le critère 3 en recourant à une analyse coûts-avantages. Par la suite, les méthodes relatives aux consultations des spécialistes et des fermiers seront récapitulées.

5.3 Évaluation biophysique du potentiel d'atténuation des risques

À la suite de l'évaluation de la modélisation des impacts climatiques sur les rendements de sorgho, les mesures d'adaptation ont été évaluées du point de vue de leur efficacité à limiter les effets du climat sur les rendements au Niger. Pour y parvenir, les paramètres des modèles ont été modifiés pour représenter les caractéristiques des stratégies d'adaptation. Quatre types de stratégies d'adaptation agricoles ont été intégrés dans la modélisation pour évaluer les impacts sur les rendements dans le contexte des conditions climatiques actuelles et futures. Il s'agissait de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) pour imiter le système des tassa, de l'irrigation, des variétés améliorées pour la gestion du fourrage et de l'agroforesterie. Les impacts sur les rendements de la mesure d'adaptation étaient considérés comme la différence entre une production avec mesures d'adaptation et une production sans, pour chaque période et scénario. Cette approche permet de montrer le potentiel des mesures d'adaptation à réduire les impacts négatifs ou à renforcer les impacts positifs du changement climatique au Niger.

En recourant au modèle LPJmL, les effets potentiels du fauchage évoqués au chapitre 10 sont représentés par le retrait complet de la biomasse foliaire des graminées jusqu'à une hauteur de chaume d'environ cinq centimètres sur des jours de fauchage prédéterminés. Nous avons testé quatre régimes de fauchage différents : un seul événement de fauchage par an le 1er octobre (M1), deux événements de fauchage par an le 1er août et le 1er octobre (M2), trois événements de fauchage par an le 1er mai, le 1er août et le 1er octobre (M3), et un seul événement de fauchage tardif, le 1er novembre (M4). Les quatre régimes de fauchage testés sont d'ordre tout à fait général et les dates de fauchage en mai, en août et en octobre s'accordent approximativement avec le début, l'apogée et la fin de la saison des pluies.

5.4 Analyse coûts-avantages

Une analyse coûts-avantages (ACA) a été menée afin d'évaluer les coûts et avantages économiques des stratégies d'adaptation sélectionnées au niveau de l'exploitation agricole. Le régime foncier et la superficie des parcelles n'ont été pris en compte que dans la mesure où il s'agissait des terres où était cultivée la culture analysée, utilisées pour les calculs, et il était explicitement demandé au fermier de déterminer la taille exacte de sa parcelle. Il n'est pas évident de savoir si des coûts plus élevés seraient liés à l'exploitation de parcelles éparpillées ou à d'autres raisons, car cela n'était pas demandé dans l'étude. Dans le cas où l'agriculteur n'était pas propriétaire des terres mais qu'il les louait, ces coûts de location supplémentaires étaient intégrés dans les calculs. Une ACA conduite dans un contexte d'adaptation étudie les coûts et bénéfices attendus lors de la mise en œuvre d'une stratégie

d'adaptation spécifique et permet de la comparer aux coûts et bénéfices d'un système de production habituel ou à d'autres stratégies d'adaptation. De cette manière, l'analyse permet d'effectuer une comparaison directe et d'identifier la stratégie d'adaptation présentant les bénéfices économiques nets les plus élevés par rapport aux autres stratégies potentielles ou au scénario sans prise de mesures. L'ACA est effectuée en traduisant en valeur monétaire tous les coûts et avantages associés à la mise en œuvre d'une stratégie d'adaptation spécifique sur une certaine durée. Les coûts d'une stratégie d'adaptation au niveau d'une exploitation agricole comprendraient les coûts liés aux intrants agricoles, au travail, aux outils et aux machines, tandis que les avantages issus de la stratégie d'adaptation au niveau de l'exploitation concernent essentiellement une augmentation du rendement ou un revenu complémentaire provenant d'une production diversifiée. Dans le cadre d'une ACA, les coûts et les avantages des stratégies d'adaptation liés à différentes périodes sont actualisés à un taux d'actualisation approprié afin de tenir compte de la valeur temporelle de l'argent (Boardman et al., 2011). Cela est nécessaire, car il convient d'estimer les avantages présents (et les coûts) plus que les avantages dans l'avenir (lointain), cet aspect étant intégré dans les calculs grâce à un taux d'actualisation.

Les indicateurs économiques tels que la valeur actuelle nette (VAN), le rapport avantages-coûts (A/C) et le taux de rendement interne (TRI) servent habituellement à la hiérarchisation ou la priorisation dans l'ACA (Quillérou, 2019). La VAN représente le bénéfice net actualisé. Une stratégie d'adaptation dont la VAN est positive est considérée comme économiquement viable (Boardman et al., 2011). Si on compare différents scénarios possibles, la stratégie d'adaptation présentant la plus forte VAN devrait être privilégiée pour sa valeur économique. Le rapport avantages-coûts (A/C) représente le ratio entre les avantages et les coûts actualisés d'une stratégie d'adaptation. Si la valeur du rapport A/C de la stratégie d'adaptation est supérieure à 1, la stratégie est considérée comme économiquement rentable. Toutefois, si l'on compare différents scénarios, la stratégie d'adaptation présentant le rapport A/C le plus élevé n'est pas nécessairement celle ayant la VAN la plus élevée aussi si les stratégies d'adaptation comparées ont un autre barème (Boardman et al., 2011). De ce fait, il est important d'examiner à la fois la VAN et l'A/C. Le TRI, par contre, indique le taux d'actualisation pour lequel la VAN est égale à 0, et si le TRI est supérieur au taux d'actualisation, la stratégie d'adaptation est considérée comme économiquement rentable (Boardman et al., 2011).

Une augmentation du rendement résultant de la mise en œuvre d'une stratégie d'adaptation ne signifie pas nécessairement une augmentation des bénéfices économiques pour le ménage de l'exploitation. De ce fait, une ACA est essentielle pour l'évaluation des stratégies d'adaptation en matière d'incidence sur le bien-être. La rentabilité économique dépend de la productivité du rendement et des coûts de production spécifiques à la stratégie d'adaptation. Néanmoins, étant donné qu'une ACA prend souvent la rentabilité économique comme unique critère de décision et, dans notre cas, seulement au niveau de l'exploitation agricole, une ACA seule risque de ne pas suffire pour évaluer les autres coûts et avantages environnementaux et sociaux d'une stratégie d'adaptation. Cela est particulièrement vrai pour les coûts et bénéfices difficiles à quantifier en termes monétaires (FAO, 2018). En outre, les coûts et avantages environnementaux et sociaux des stratégies d'adaptation sont souvent vécus en dehors de l'exploitation. Il est donc important de recourir à des méthodes d'évaluations complémentaires souples évaluant les stratégies d'adaptation au-delà de leur valeur économique, comme cela est effectué dans la présente étude pour chaque stratégie d'adaptation.

L'ACA de chaque stratégie d'adaptation repose sur des études de cas choisies, réalisées dans divers villages du Niger. Pour chaque stratégie, nous avons réuni les données détaillées de coûts et de production de 10 agriculteurs qui mettaient en œuvre la technologie, ainsi que celles de 10 autres agriculteurs témoins qui n'y recouraient pas. Les niveaux de rendements locaux ont servi de référentiel pour le scénario ne prévoyant pas d'adaptation. Les futures variations de rendements dues aux impacts climatiques en vertu de différents scénarios d'émissions sont calculées à partir des résultats de notre modèle cultural basé sur le sorgho. Dans ce contexte, les études de cas suivantes ont été menées pour l'ACA :

- agroforesterie et régénération naturelle des arbres gérée par les agriculteurs
- mise en œuvre des technologies de gestion des sols et de l'eau dans les cultures pluviales de millet et de niébé
- irrigation pour l'agriculture de contre-saison
- gestion améliorée du fourrage : variétés améliorées, production irriguée de la luzerne et fauchage.



Chapitre 6 – Adaptation et capacité d'adaptation au Niger

Depuis le début de ce siècle, la recherche sur l'adaptation au changement climatique a pris un essor important : Scopus renvoie 35 034 résultats pour une recherche effectuée avec les mots « adaptation au changement climatique ». 88% des résultats datent d'après 2010. La majorité des études se concentrent sur les facteurs qui soit encouragent soit entravent l'adaptation (Eguavoen et Wahren, 2015 ; Moser & Ekstrom, 2010 ; Nielsen et Reenberg, 2010 ; Sanou et al., 2019 ; Yaméogo et al., 2017). Pour concevoir, mettre en œuvre et évaluer des stratégies d'adaptation, il faut comprendre comment fonctionne l'adaptation.

6.1 Adaptation et capacité d'adaptation

Moser et Ekstrom définissent l'adaptation selon les termes suivants : "L'adaptation implique des modifications au niveau des systèmes socio-écologiques en réponse aux impacts réels et escomptés du changement climatique, dans un contexte de changements non climatiques interdépendants. Les stratégies d'adaptation et les actions vont de la résolution de problèmes à court terme à des transformations plus profondes à long terme ; elles visent à accomplir davantage que les objectifs liés au changement climatique seuls, et peuvent ou non parvenir à modérer les maux ou à exploiter les opportunités bénéfiques" (Moser et Ekstrom, 2010, p. 22026). En outre, Adger et al. (2005) déclarent que l'adaptation au changement climatique peut être motivée par de nombreux facteurs, tels que le bien-être économique et la sécurité.

L'adaptation comprend à la fois le renforcement de la capacité d'adaptation, qui vise à améliorer la capacité des individus, des groupes ou des organisations à s'adapter aux changements, et l'application des décisions d'adaptation, c'est-à-dire la transformation de cette capacité en action. Ces deux aspects de l'adaptation peuvent être mis en œuvre en préparation ou en réaction directe aux impacts générés par le changement climatique (Adger et al., 2005).

Le succès de l'adaptation repose non seulement sur le choix de stratégies d'adaptation adéquates, mais aussi sur le renforcement de la capacité d'adaptation des systèmes humains et naturels, car c'est ce qui assurera le potentiel de mise en œuvre durable des stratégies d'adaptation. Le GIEC définit la capacité d'adaptation comme la "faculté d'ajustement des systèmes, des institutions, des êtres humains et d'autres organismes qui leur permet de se prémunir contre d'éventuels dommages, de tirer parti des opportunités ou de réagir aux conséquences." (GIEC, 2014, p. 118). Le terme "capacité d'adaptation" trouve son origine dans la sociologie et la gestion des organisations et des entreprises, mais il s'est intégré dans le domaine de la réponse au changement climatique. Comme le montre la définition ci-dessus, il existe différents types de capacité d'adaptation. Engle (2011) distingue l'adaptation réactive et l'adaptation anticipée. L'adaptation réactive renvoie à la capacité de s'adapter à un environnement en train de changer, c'est-à-dire de réagir à un choc survenu dans le passé. L'adaptation anticipée signifie la capacité de prévenir les chocs futurs. Elle est basée sur "la capacité de comprendre comment l'avenir pourrait être [et] influencée par la capacité d'apprentissage à partir des expériences passées" (Engle, 2011, p. 648). La présente analyse des risques climatiques est justement basée sur ce principe, c'est-à-dire que le climat à venir est modélisé à partir des données historiques et, ainsi, des stratégies d'adaptation adéquates sont choisies pour la planification anticipée.

Les sexospécificités dans les politiques et les plans à l'échelle nationale

La plupart des stratégies nationales mentionnent à peine les sexospécificités et la situation des femmes face au changement climatique. Dans ses CDN, le Niger déclare son intention de réduire la charge des tâches ménagères traditionnellement attribuées aux femmes, telles qu'aller chercher de

l'eau ou du bois de feu (Republic of Niger, 2015). Adoptée en 2016, la Stratégie de Développement Durable et de Croissance Inclusive (SDDCI) définit une stratégie de développement à moyen terme pour le pays et reconnaît les inégalités existantes entre les hommes et les femmes. Ce document fait plusieurs allusions à la situation des femmes et à la nécessité d'inclure celles-ci et les groupes socialement défavorisés dans les processus de prises de décision, sans toutefois ni évoquer de forme d'intégration des femmes ni suggérer comment y parvenir (Ministère du Plan du Niger, 2017b). De même, la stratégie n'aborde pas les autres groupes vulnérables, définis par exemple par l'âge, l'origine ethnique ou le statut de migrant. Le Plan de développement économique et social (PDES) adopté en 2017 pour la période de 2017 à 2021 reconnaît la "contre-performance du Niger en matière de genre" (Ministère du Plan du Niger, 2017a, p. 46) – et ses manifestations dans les inégalités existantes entre les hommes et les femmes. Il fait notamment allusion à l'accès aux soins et à l'éducation, ainsi qu'à la participation aux activités économiques et à la prise de décision, sans toutefois évoquer de mesures spécifiques pour y remédier. Seule la politique nationale du genre en 2017 évoque en détail la situation des femmes, en particulier dans le secteur agricole, où elles ont davantage tendance à participer à la production qu'à détenir des postes de gestion (Ministère de la Promotion de la Femme et de la Protection de l'Enfant du Niger, 2017). La politique nationale du genre reconnaît également leur accès limité aux terres, aux financements et aux éléments essentiels à l'agriculture tels que les semences et les engrais. Enfin, elle expose une vision permettant de corriger les inégalités entre les sexes qui repose sur quatre axes stratégiques visant à améliorer (1) l'environnement socio-culturel pour une meilleure parité, (2) les cadres institutionnels et juridiques afin d'appliquer les droits de la femme de manière concrète, (3) l'autonomie économique et la croissance inclusive et (4) les cadres et les partenariats pour coordonner et évaluer les interventions liées au genre.

6.2 Facteurs à la base de la planification de l'adaptation

Différents facteurs doivent être pris en compte en vue de planifier des stratégies d'adaptation au changement climatique adéquates. L'adaptation doit être considérée comme un processus social dynamique. D'après Basson et al. (2020), le leadership, la structure organisationnelle, la collaboration, le réseautage, l'engagement des parties prenantes et l'accès à l'information sont les facteurs de réussite du processus d'adaptation. Aussi, Tompkins considère les réseaux de soutien, une gouvernance forte et la volonté d'apprendre comme les moteurs de la réussite de l'adaptation au changement climatique (Tompkins, 2005). Les processus d'adaptation dépendent de la capacité de chaque acteur à exercer ses choix et, plus largement, du capital social, c'est-à-dire, de l'interdépendance des différents acteurs par leurs relations entre eux et avec les institutions dans lesquels ils se trouvent, et la base de ressources dont ils dépendent (Adger, 2003 ; Ribot et Peluso, 2003). Dans une étude des risques climatiques réalisée pour l'Éthiopie (Murken et al., 2020), quatre facteurs ont été identifiés : l'accès aux ressources, la diversité et la flexibilité, l'apprentissage et les savoirs, et la gouvernance et les institutions. Dans la section ci-après, ces facteurs seront davantage précisés par rapport au contexte de l'adaptation au changement climatique au Niger et analysés.

6.2.1 Accès aux ressources

Plusieurs études mentionnent le manque d'accès aux ressources comme l'obstacle principal à une adaptation efficace au changement climatique. Les ressources sont importantes à toutes les étapes du processus d'adaptation. Elles englobent les ressources naturelles, financières et techniques, l'information et l'expertise concernant le changement climatique et les alternatives d'adaptation, le travail, les transports et le temps (Acquah, 2011 ; Moser et Ekstrom, 2010 ; Shackleton et al., 2015 ; Sorgho et al., 2020). D'après Moser et Ekstrom (2010), des ressources inadéquates constituent souvent la première réponse à la question de savoir pourquoi les professionnels n'ont pas encore commencé à planifier l'adaptation au changement climatique.

Basée sur un ensemble de données de la Banque mondiale réunies en 2011 auprès d'environ 4 000 ménages (ECVMA, 2011), une étude menée dans le cadre de cette analyse des risques climatiques montre que disposer d'un plus grand foyer et d'une

superficie terrienne plus vaste a un effet positif non négligeable sur les actions des agriculteurs contre le changement climatique (voir Annexe, tableau 1). Un foyer et des terres plus vastes peuvent témoigner d'une meilleure disponibilité de ressources humaines et financières, ce qui renforce la capacité d'adaptation. D'après Asfaw, Di Battista et Lipper (2014), outre la taille des parcelles, la propriété foncière augmente la probabilité que les agriculteurs adoptent des stratégies d'adaptation. Être propriétaire accroît cette probabilité, car les stratégies permettent des retours sur les investissements à long terme. Aussi, ils ont observé que plus la distance entre le foyer et les parcelles est grande, plus elle a un impact négatif sur l'adoption des stratégies d'adaptation, surtout à cause des coûts de transports plus élevés.

Une autre étude sur les ménages dans les exploitations agricoles au Niger a révélé que l'adoption de stratégies d'adaptation, telles que les semences améliorées ou les engrais chimiques, dépendait de la richesse des ménages, les ménages les plus aisés étant plus disposés à adopter les stratégies d'adaptation (Djibo et Malam Maman, 2019). En outre, Asfaw, Di Battista et Lipper (2014) ont découvert que les foyers plus aisés au Niger étaient plus enclins à recourir à des pratiques requérant plus de capitaux initiaux qu'à des pratiques en nécessitant moins, comme l'utilisation des résidus agricoles qui est plus courante parmi les foyers moins aisés. Parmi les obstacles à l'adaptation au changement climatique, on peut citer un accès insuffisant au marché, une propriété limitée ou des droits fonciers précaires pouvant restreindre le rayon d'action des agriculteurs et leurs périodes de planification (Shackleton et al., 2015). Enfin, Murken et al. (2020) ainsi que Shackleton et al. (2015) signalent que les pénuries en eau sont un problème fréquent qui entrave l'adoption de stratégies d'adaptation comme l'irrigation.

6.2.2 Contexte local et diversité

La conception et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation peinent souvent à reconnaître les contextes locaux de manière adéquate et leur hétérogénéité inhérente. Les contextes locaux sont façonnés par la culture (les valeurs, les normes, les croyances, etc.), les niveaux de gouvernance et les systèmes politiques différents, les écosystèmes et les réseaux sociaux. Ces facteurs, qui interagissent entre eux, sont essentiels pour la planification de l'adaptation au changement climatique (Shackleton et al., 2015). Ils peuvent représenter soit des moteurs soit des obstacles à la réussite des stratégies d'adaptation. Par exemple, au nord du Burkina Faso, différents groupes ethniques et, par conséquent, différentes valeurs culturelles, ont permis à un groupe, mais en revanche en ont empêché un autre, de diversifier ses stratégies de subsistance, par exemple en tirant profit des projets de développement, du jardinage et en engageant les femmes dans les activités économiques (Nielsen et Reenberg, 2010). Différents facteurs, comme le sexe, l'âge, la catégorie sociale, la religion et l'appartenance ethnique conditionnent les capacités d'adaptation des individus et le choix des stratégies d'adaptation (Biesbroek et al., 2013 ; Shackleton et al., 2015). Nielsen et Reenberg (2010, p. 142) appellent ces facteurs des "sensibilités variées" (varied sensitivities) : des groupes différents éprouvent les risques climatiques, leurs impacts et les opportunités d'adaptation aussi différemment. Les populations pauvres et marginalisées des pays à revenu faible risquent davantage de rencontrer des obstacles à l'adaptation tels que le manque d'accès aux crédits, au pouvoir de décision, aux informations et aux ressources naturelles comme les terres ou les forêts (Engle, 2011 ; Shackleton et al., 2015). Cela s'avère vrai en particulier pour les femmes qui, en raison d'une combinaison de ces facteurs, produisent en moyenne 20% de moins par hectare de terrain que leurs homologues masculins (Banque mondiale, 2019). En outre, les femmes, mais aussi d'autres groupes comme les personnes plus âgées, auront plus de difficultés à émigrer et dépendront ainsi davantage de la production agricole (Shackleton et al., 2015). Comme Asfaw, Di Battista et Lipper (2014) l'ont montré, la productivité agricole a tendance à baisser plus l'agriculteur est âgé, ce qui accroît encore le risque d'insécurité alimentaire. "Une mise en lumière des dimensions entrecroisées des inégalités permettrait d'identifier les facteurs complexes qui empêchent certains groupes de personnes désavantagées de s'adapter au changement climatique, tandis que d'autres auraient plus de chances ou en tireraient profit" (Shackleton et al., 2015, p. 338). En outre, même si des stratégies d'adaptation sont mises en place, leur simple existence ne garantit pas une égalité d'accès : d'après Ludi et al. (2012), l'établissement d'infrastructures d'irrigation risque de maintenir l'exclusion sociale, celle des femmes en particulier, à qui il manquerait l'argent pour verser des pots-de-vin ou le statut social nécessaire pour les revendiquer.

D'un point de vue extérieur, si le changement climatique semble être un problème urgent dans les pays du monde entier, même ceux du Sahel, plusieurs scientifiques précisent qu'il existe d'autres problèmes, peut-être même encore plus urgents (Brockhaus et al., 2012 ; Shackleton et al., 2015). D'autres problèmes sont liés, par exemple, à la croissance démographique, aux conflits ethniques et aux risques sanitaires (SIDA, par ex.) (Shackleton et al., 2015). En effet, dans l'analyse des risques climatiques menée en Éthiopie, les informateurs ont désigné la croissance démographique comme un facteur majeur à l'origine de tensions, entraînant la réduction de la taille des terres agricoles et leur fragmentation (Murken et al., 2020). Il s'agit souvent de facteurs de tensions plus immédiats qui sont donc à traiter en priorité.

6.2.3 Savoir et informations

D'après Shackleton et al. (2015), l'incertitude et la variabilité climatiques, le manque d'informations sur les événements météorologiques extrêmes et une capacité de prédiction insuffisante à l'échelle locale représentent des obstacles fréquents à l'adaptation au changement climatique. De ce fait, les connaissances et les informations sur les risques climatiques sont essentielles pour concevoir et mettre en œuvre les stratégies d'adaptation correctes. Les systèmes de valeurs et de croyances au niveau local définissent la façon dont les personnes comprennent et interprètent les risques climatiques (Moser et Ekstrom, 2010). Les expériences réelles avec les facteurs de tensions climatiques et les réactions à ces facteurs jouent également un rôle important : d'une part, vivre les facteurs de tensions liés au climat comme les sécheresses peuvent servir d'éléments déclencheurs et motiver les personnes à investir dans des stratégies d'adaptation (Shackleton et al., 2015). Cela s'applique particulièrement lorsque les rendements sont touchés de manière négative, car, selon Akponikpè et al. (2010), les agriculteurs ne perçoivent pas le climat d'un point de vue météorologique, mais le considèrent plutôt par rapport à leurs activités agricoles. Asfaw et al. (2014) le confirment dans leur analyse des facteurs conditionnant les stratégies d'adaptation : une plus grande variabilité des précipitations et de plus fortes températures maximales pendant la saison de croissance augmentaient le recours à des pratiques de réduction des risques, telles que la gestion des résidus agricoles. D'autre part, les phénomènes comme la variabilité climatique font partie intégrante de la vie de nombreuses personnes au Sahel. De ce fait, il se peut qu'elles les considèrent comme des phénomènes naturels, incontrôlables par l'homme, et ainsi qu'elles sous-estiment la gravité du changement climatique (Shackleton et al., 2015). De ce fait, une communication efficace sur les risques climatiques est essentielle pour accroître la prise de conscience et la compréhension. Traditionnellement, les services de vulgarisation agricoles jouent ici un rôle important. Cependant, les agriculteurs n'ont souvent pas accès à ces services. D'après une étude menée dans deux communautés rurales au Niger, 32% des personnes interrogées n'ont jamais reçu la visite d'agents de vulgarisation et 55% ont reçu rarement la visite de ces agents (Assoumana et al., 2016). Pour Assoumana et al. (2016), cet accès limité s'explique par le déclin annuel des services de vulgarisation publics depuis environ 1998. Ces informations sont cependant essentielles, notamment pour les prévisions climatiques et météorologiques : Mubaya et al. (2012) ont trouvé que les agriculteurs ayant accès aux informations météorologiques étaient plus en mesure d'être conscients des changements et d'entreprendre des adaptations en conséquence. Une étude réalisée dans quinze villages autour de Niamey, la capitale du Niger, l'a également confirmé : des prévisions sur dix jours ont conduit à des modifications positives des revenus dans plus de 75% des cas ; les fermiers connaissant les changements de revenus les plus positifs étant ceux ayant accès aux engrais et à davantage de terres arables (Roudier et al., 2016).

Un des problèmes sous-jacents majeurs concernant l'information climatique, c'est qu'elle repose sur la connaissance d'impacts à long terme, et que "ces connaissances sont remplies d'incertitudes" (Vink et al., 2013, p. 1). En outre, le caractère à long terme de l'adaptation au changement climatique nécessite plusieurs cycles politiques avant que les effets des stratégies d'adaptation puissent être évalués. Cette dimension temporelle et l'incertitude (perçue) qui y est associée compliquent la prise de décision dans la planification de l'adaptation et l'initiative d'en faire une priorité (Hovi et al., 2009 ; Lazarus, 2009).

6.2.4 Gouvernance, institutions et réseaux

La gouvernance, les institutions et les réseaux sont des éléments cruciaux de la réponse au changement climatique (Adger et al., 2005 ; Biermann et al., 2010 ; Brockhaus et al., 2012 ; Moser et Ekstrom, 2010). Ces éléments sont caractérisés par différents acteurs, niveaux, échelles et secteurs qui interagissent tous entre eux. Selon Amaru et Chhetri (2013), l'adaptation au changement climatique devrait mettre en lumière et engager activement un grand nombre d'acteurs, dont les agriculteurs, les organisations qui les soutiennent, les communautés, les institutions publiques, la société civile (ONG, par ex.), les agences internationales et le secteur privé. Ces acteurs, qui dépendent les uns des autres, apportent des intérêts, des responsabilités et des cadrages du problème de différentes sortes qui peuvent, dans certains cas, entrer en conflit les uns avec les autres (Rodima-Taylor, 2012 ; Vink et al., 2013). En même temps, leurs enseignements, leurs connaissances et leurs ressources peuvent grandement faciliter la planification de l'adaptation. Adger et al. (2005, p. 79) affirment que l'adaptation au changement climatique implique des "décisions en cascade" dans cet environnement d'acteurs. S'il est important de réunir différents acteurs, il est aussi important de réunir et de considérer différents secteurs. Brockhaus et al. (2012) ont mené plusieurs études à différents niveaux au Burkina Faso et au Mali et constaté une forte conception sectorielle parmi les acteurs gouvernementaux qui ne considéraient pas l'adaptation au changement climatique comme une activité intersectorielle, percevant les secteurs comme l'eau ou la foresterie indépendamment les uns des autres.

La conception et la mise en œuvre de stratégies d'adaptation sont aussi conditionnées par les politiques, les lois, les règles, les réglementations, les programmes et les mandats existants (Moser et Ekstrom, 2010). Ces cadres institutionnels, déclarent Brockhaus et al., (2012) sont nécessaires pour passer d'une réponse réactive aux impacts climatiques, souvent réalisée au niveau local, à une action climatique durable et systématique. Cependant, une planification de l'adaptation plus intensive à grande échelle, comme au niveau national ou international, doit garantir une planification à différents niveaux, comprenant également les besoins d'adaptation spécifiques à l'échelle locale et les capacités propres aux communautés locales : "Si les institutions opérant à plus grande échelle sont capables de créer un environnement propice à l'adaptation au niveau national, leur degré d'engagement a tendance à laisser de vastes lacunes en matière de réactions d'adaptation au niveau local, en ignorant des acteurs importants dans la compréhension du rapport entre les tendances climatiques et les conséquences de l'adaptation à l'échelle locale" (Amaru et Chhetri, 2013, p. 129). En outre, il est important de souligner que les cadres institutionnels peuvent servir de moteurs à l'adaptation climatique, mais, dans certains cas, se transformer en obstacles, par exemple en cas de droits fonciers limités dans le temps ou précaires (Adger et al., 2005).

Enfin, outre la gouvernance et les cadres institutionnels, il est important d'inclure d'une part les communautés locales dans la planification de l'adaptation pour établir l'actionnariat et de tenir compte d'autre part des réseaux informels organisés autour des liens de parenté et d'amitié, des institutions coutumières, comme les pratiques de gestion des ressources acceptées au niveau local, des normes et des tabous (Amaru et Chhetri, 2013 ; Yaméogo et al., 2018). Les réseaux informels peuvent assurer une aide plus rapide et plus facilement accessible en matière d'adaptation au changement climatique, par exemple grâce au partage des informations et des connaissances. Ces réseaux peuvent également être sources de ressources financières, de recours au crédit, soit de façon informelle par le biais de parents ou d'amis, soit plus formelle par le biais des associations d'agriculteurs (Yaméogo et al., 2018). La connectivité sociale peut également avoir des répercussions négatives : s'ils sont exclusifs et rigides, les réseaux sociaux peuvent renforcer les structures de pouvoir existantes et marginaliser davantage les groupes déjà défavorisés. Ils peuvent aussi représenter un obstacle à l'apprentissage si la sagesse traditionnelle n'est jamais contestée (Newman et Dale, 2004 ; Wolf et al., 2010).

6.3 Les sexospécificités, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique au Niger

Un nombre croissant d'études reconnaît que différents groupes sociaux présentent des vulnérabilités au changement climatique et des capacités d'adaptation différentes (Alston, 2013 ; Arora-Jonsson, 2011 ; Perez et al., 2015 ; Rao et al., 2019). Ces groupes sociaux hétérogènes disposent d'atouts et de compétences variés, endossent diverses responsabilités et rôles au sein de leur famille et de leur communauté (Carr et Thompson, 2014). Même si les sexospécificités sont un facteur parmi d'autres, elles jouent un rôle déterminant en ce qui concerne la vulnérabilité au changement climatique et la capacité d'adaptation (Ahmed et al., 2016). "Dans le moment vulnérable qui suit les catastrophes, on constate que les inégalités sexospécifiques sont renforcées et légitimées d'une manière qui réduit la capacité d'adaptation des femmes", indique Alston (2013, p. 8).

6.3.1 Facteurs déterminants à la vulnérabilité au changement climatique liée au genre

Biens et ressources

Les femmes ont tendance à moins accéder aux revenus et aux facteurs de production comme les semences, les engrais ou les charrues, et à en moins obtenir le contrôle (Ahmed et al., 2016 ; Alston, 2013 ; Kakota et al., 2011 ; Tall et al., 2014). Une étude récente de la Banque mondiale sur les inégalités entre hommes et femmes au Niger a montré que les parcelles agricoles gérées par les femmes produisaient, en moyenne, 20% de moins par hectare de terrain que celles gérées par les hommes (Banque mondiale, 2019). Parmi les facteurs influençant cette inégalité, on peut citer le manque d'intrants liés ou non à la main-d'œuvre comme es pesticides et les engrais, et un taux plus faible d'alternance des cultures et d'irrigation (Banque mondiale, 2019). En moyenne, les engrais biologiques étaient utilisés sur une parcelle sur cinq gérée par des femmes en comparaison à deux parcelles sur cinq gérées par des hommes (Backiny-Yetna et McGee, 2015). Une inégalité est observée également au niveau des quantités d'engrais biologiques utilisées : tandis que les parcelles gérées par les hommes bénéficiaient d'une valeur annuelle par hectare de 3 300 francs CFA (~ 6 USD), elle n'était que de 1 800 francs CFA pour les femmes (Backiny-Yetna et McGee, 2015). Un rapport de la FAO estime que si les femmes avaient le même accès aux ressources que leurs homologues masculins, elles pourraient accroître le rendement de leurs récoltes de 20–30% (FAO, 2011).

Insécurité terrienne et foncière

Les difficultés de l'accès des femmes aux terres sont un reflet de la pression foncière croissante au Niger. Par exemple, la distance entre le foyer et les parcelles a tendance à être plus élevée pour les femmes que pour les hommes (Banque mondiale, 2019). La superficie moyenne des parcelles gérées par les femmes (1 ha) a tendance à être moins importante que celles gérées par les hommes (1,7 ha) (Backiny-Yetna et McGee, 2015), et s'amenuise de plus en plus (Monimart et Tan, 2011). Pour Monimart et Tan (2011), cette tendance est liée au manque croissant de terres agricoles au Niger et à la nécessité de diviser les parcelles existantes entre membres de la famille, la priorité étant accordée aux hommes. De ce fait, le travail des femmes est moins requis, et celles-ci sont de plus en plus exclues des activités agricoles, ce qui les rend encore plus dépendantes de leurs mères ou de leurs grands-mères pour accéder aux terres ou à d'autres biens (Monimart et Tan, 2011). Diarra et Monimart (2006, p.2) parlent de "dé-féminisation de l'agriculture" pour évoquer ce développement.

L'insécurité foncière représente un autre problème majeur en raison duquel très peu de femmes sont propriétaires de terres, ce qui renforce encore les inégalités entre hommes et femmes (Backiny-Yetna et McGee, 2015 ; Diarra et Monimart, 2006 ; Perez et al., 2015). Les participants d'une étude menée dans plusieurs pays, dont le Niger, révèlent que seuls les hommes possèdent et héritent de terres, tandis que les femmes cultivent les terres qui leur sont remises par leur mari ou qu'elles louent à la communauté (Perez et al., 2015). Ce n'est qu'en vertu de la loi islamique que les femmes héritent de la moitié de la part d'un membre masculin de la famille occupant la même position (Bron-Saïdatou

& Yankori, 2016) De ce fait, l'accès restreint aux terres et à leur contrôle empêche les femmes de réaliser des investissements à long terme ou de mettre en œuvre des stratégies d'adaptation qu'elles envisageraient autrement (Bryan et al., 2018 ; Jost et al., 2016).

Accès à l'information

Les femmes rencontrent également des obstacles pour accéder aux informations climatiques en raison de leur alphabétisation insuffisante ou parce qu'elle n'ont pas de radio ou de téléphone mobile, ou qu'elles ont des besoins différents des hommes en ce qui concerne les informations climatiques (Bryan et al., 2018 ; Rigg et al., 2016). Selon une étude effectuée dans le département d'Aguié au Niger, les femmes (66,7%) étaient moins conscientes des effets du changement climatique que les hommes (80,5%) (Ado et al., 2019). Les besoins en matière d'informations climatiques peuvent aussi dépendre du sexe : dans une communauté rurale au Sénégal, les femmes agricultrices avaient besoin en particulier d'informations concernant les précipitations parce que les hommes procédaient d'abord à la mise en culture de leurs parcelles et ne venaient assister les femmes qu'ultérieurement. De ce fait, celles-ci avaient surtout besoin d'en savoir plus sur les vagues de sécheresse potentielles et la fin de la saison des pluies (Tall et al., 2014). Si les services de vulgarisation agricoles fournissent des conseils techniques importants, beaucoup d'entre eux ont tendance à travailler exclusivement avec les hommes. C'était le cas notamment dans un village agricole au sud-est du Niger où les femmes étaient exclues des services de vulgarisation, alors qu'elles étaient les principales productrices de sésame, d'arachides et de niébé (Goudou et al., 2012).

Coutumes sociales et responsabilités ménagères

En raison des coutumes sociales, les modèles de responsabilité et de travaux associés au ménage reposent fortement sur le genre, les femmes endossant souvent un rôle de triple dimension dans les activités productives, reproductives et de gestion communautaire (Moser, 1993 ; Rigg et al., 2016). Dans l'étude réalisée au Burkina Faso par Kieran et al. (2012), les femmes ont indiqué que les hommes travaillaient 14 heures, pour leur part, elles travailleraient 11 heures par jour. Cependant, elles n'ont pas inclus les heures passées aux tâches ménagères comme la collecte du bois ou de l'eau. Au Burkina Faso comme au Niger, il s'agit de responsabilités presqu'exclusivement réservées aux femmes (Dickin et al., 2020 ; World Food Programme et USAID, 2017). Aller chercher de l'eau est une tâche étroitement liée aux femmes comme le montre une étude de Goudou et al. (2012) : après avoir demandé à des femmes et à des hommes de dresser la carte de leur village, on a constaté qu'aucun des hommes n'avait mentionné le puits. En effet, aucun d'eux ne s'y rend puisqu'aller chercher de l'eau est une responsabilité réservée aux femmes. Si on ajoute ce labeur aux autres responsabilités ménagères et au travail dans les champs, y compris le temps de trajet pour se rendre aux puits, on constate que les femmes sont chargées de multiples fardeaux. C'est en particulier le cas durant la saison sèche, lorsque le temps de trajet pour se rendre aux puits s'accroît, et lorsque les hommes émigrent pour travailler dans de plus grandes villes, dans des fermes où l'irrigation est pratiquée, ou à l'étranger, les destinations principales étant le Nigeria, le Bénin et la Côte d'Ivoire (IDMC, 2019 ; UNDESA, 2019). En raison de sa forte prévalence, ce type de migration saisonnière est localement appelé "exode" et considéré comme une forme de "migration de détresse" par l'IDMC (2019, p. 5), l'organisme international de surveillance des déplacements internes, puisqu'elle n'est pas de nature volontaire ou stratégique, mais plutôt une réaction à court terme aux chocs environnementaux externes.

Tous ces facteurs limitent la mobilité des femmes, leur productivité agricole et leurs sources de revenus. De ce fait, les moyens de subsistance des femmes dépendent beaucoup de l'agriculture et de l'élevage, de plus en plus fragilisés par les impacts climatiques. Les femmes sont soumises à de lourdes contraintes en raison des différences sexo-spécifiques dans l'accès aux ressources, comme cela est décrit ci-dessus (Alston, 2013 ; Belcore et al., 2020).

Cependant, un nombre croissant d'études souligne l'action des femmes dans l'adaptation au changement climatique (Aguilar, 2013 ; Alston, 2013 ; Bee et al., 2013 ; Rao et al., 2019). S'il est vrai que les femmes ont un accès limité aux capitaux, aux terres ou aux informations, elles possèdent des connaissances locales cruciales sur l'agriculture, la pêche, l'eau et l'énergie utiles à la conception de politiques d'adaptation au changement climatique efficaces et inclusives ainsi qu'à la mise en œuvre de stratégies d'adaptation (Alston, 2013). Souvent

principales gestionnaires des ressources naturelles, les femmes ont tendance à être plus proches de la nature, ce qui est en partie lié à leur plus grande dépendance vis-à-vis des ressources naturelles, et de ce fait, elles sont plus conscientes de l'environnement (Arora-Jonsson, 2011 ; Figueiredo et Perkins, 2013). Ainsi, la participation et l'influence à parts égales des femmes et des hommes dans la prise de décision liée à l'adaptation, avec des représentants de groupes marginalisés, permettraient le renforcement des capacités et créeraient des conditions propices à une mise en œuvre inclusive.

6.3.2 Un point de vue intersectoriel

Ce n'est pas seulement le genre qui détermine la vulnérabilité au changement climatique. Au lieu de se concentrer exclusivement sur le genre, Ahmed et al. (2016, p. 2) adoptent un point de vue plus large et parlent d'un "paysage de vulnérabilité où divers critères sociaux, comprenant le handicap, la classe sociale, l'appartenance ethnique et les systèmes de valeurs produisent des conditions hétérogènes" pour l'adaptation au changement climatique. D'autres facteurs comme l'état matrimonial (marié-e, divorcé-e, veuf ou veuve), la famille qui s'agrandit ou une santé fragile peuvent également aggraver la vulnérabilité des femmes (Nation, 2010 ; Van Aelst et Holvoet, 2016). Nyantakyi-Frimpong (2019, p. 1545) a conduit des recherches sur la vulnérabilité des petits exploitants par rapport aux événements climatiques extrêmes au nord du Ghana. Elle a mis en lumière l'importance d'une perspective intersectorielle tenant compte de différents facteurs sociaux notamment sur l'exemple d'une agricultrice qui n'était pas "juste une femme, mais une femme séropositive, pauvre et veuve, sans époux pour gérer le problème quotidien au village consistant à sécuriser une charrue".

Encadré d'informations complémentaires :
le potentiel des stratégies d'adaptation pour améliorer la production agricole

À partir des données au niveau des ménages collectées en 2011 auprès de 4 000 foyers au Niger dans le cadre de l'étude de mesure des niveaux de vie – les enquêtes agricoles intégrées (LSMS-ISA) de la Banque mondiale (ECVMA, 2011), nous avons évalué la gestion de l'adaptation effectuée par les agriculteurs nigériens afin de comprendre l'impact des stratégies d'adaptation mises en œuvre au niveau de la production agricole. L'ensemble de données présente une couverture nationale, comprenant à la fois les zones urbaines et rurales de toutes les régions du pays, et contient un éventail d'informations sur la production agricole des ménages, les pratiques d'adaptation mises en œuvre et les connaissances existantes sur l'exploitation ainsi que les caractéristiques du ménage (nombre de membres du foyer, sexe et éducation du chef de famille).

D'abord, nous avons identifié les pratiques d'adaptation mises en œuvre par les fermiers en réaction aux changements des températures et des précipitations en 2011 (voir Annexe, tableau 2) : la diversification des sources de revenus, le changement des variétés de semences et la migration ont été identifiés comme les stratégies les plus fréquemment appliquées. Si certaines stratégies d'adaptation comme le changement des variétés de semences ont un effet positif direct sur la production alimentaire, d'autres stratégies comme la diversification des sources de revenus et la migration peuvent jouer un rôle indirect sur la production alimentaire : la réduction des contraintes financières permettant la mise en œuvre d'innovations, notamment les semences améliorées et l'irrigation.

Si 57% des ménages de l'échantillon n'ont entrepris aucune mesure face au changement climatique, 16% d'entre eux ont mis en œuvre une seule stratégie d'adaptation et 28% ont mis en pratique une combinaison de stratégies d'adaptation différentes (Figure 48). Mais le pourcentage de ménages ayant mis en œuvre plus de quatre stratégies d'adaptation est très faible.

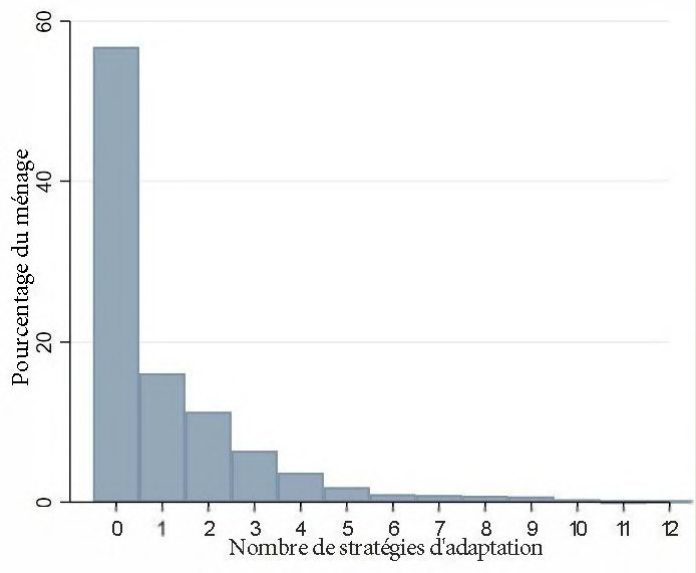


Figure 48 : Nombre de stratégies d'adaptation mises en œuvre par les ménages.

Ensuite, pour l'analyse, une régression a été effectuée pour évaluer les impacts de l'adaptation sur la production agricole. L'analyse suggère que la mise en œuvre des stratégies d'adaptation a un effet positif sur le niveau de la production alimentaire (voir Annexe, tableau 3). Les foyers ayant instauré une ou plusieurs stratégies d'adaptation présentent un niveau de production relativement plus élevé que les foyers qui n'en ont instauré aucune. Mais cet effet n'est pas significatif au plan statistique. C'est-à-dire que même si les stratégies d'adaptation apportent des avantages, ceux-ci ne sont pas suffisamment significatifs. D'autres caractéristiques telles que le niveau d'éducation du chef de famille, la taille du foyer, la superficie des terres et la taille du troupeau, la présence constante d'un agent de vulgarisation et des conditions météorologiques spécifiques (niveau de précipitations par ex.) présentent un rapport positif important vis-à-vis du niveau de la production agricole, tandis que les foyers menés par une femme ne présentent pas cet effet positif sur le niveau de production. Comme cela est examiné dans le chapitre précédent (5.3), la question du genre est importante en ce qui concerne la gestion de l'adaptation. En ce qui concerne tous les facteurs mentionnés plus haut (biens et ressources, accès à l'information, etc.), les femmes sont généralement confrontées à un traitement inégal et à des obstacles sexospécifiques, ce qui réduit leur capacité d'adaptation et leur résilience face au changement climatique.

Ainsi, ces premiers résultats mettent en lumière l'importance de comprendre la dimension des questions liées au genre et des obstacles associés afin d'évaluer et d'améliorer la capacité d'adaptation des petits exploitants. Comme la plupart des fermiers ne prennent pas de mesure d'adaptation face au changement climatique, des interventions politiques sont nécessaires afin d'accroître leur capacité d'adaptation. Outre les répercussions entraînées par les obstacles liés au genre, davantage d'efforts sont requis pour identifier les pratiques d'adaptation innovantes capables d'entraîner des impacts positifs plus solides et plus significatifs que celles actuellement appliquées par, en particulier, les petits exploitants.



Chapitre 7– Agroforesterie et régénération naturelle des arbres gérée par les agriculteurs

7.1 Contexte et description de la technologie

L'agroforesterie est définie comme "l'intégration et l'utilisation d'arbres dans des champs cultivés, des paysages fermiers et agricoles" (Dinesh et al., 2017, p. 11). Plus spécifiquement, il s'agit "d'un système de gestion des ressources naturelles dynamique et basé sur l'écologie qui, grâce à l'intégration d'arbres dans les fermes et les paysages agricoles, permet de diversifier et de soutenir la production en vue de renforcer les avantages économiques, sociaux et environnementaux au profit des utilisateurs des terres à tous les niveaux." (FAO, 2015a). Grâce à cette pratique, au Niger ainsi que dans d'autres pays sahéliens d'Afrique occidentale, des zones autrefois semi-désertes reverdissent, et des zones de production marginale se rétablissent (Vira et al., 2015 ; Binam et al., 2017 ; Bayala et al., 2020). Considérée comme l'une des dix meilleures innovations pour l'adaptation dans l'agriculture (Dinesh et al., 2017), l'agroforesterie semble très prometteuse pour remédier à de nombreux problèmes liés aux systèmes de cultures traditionnels à faibles intrants et permet d'amortir les impacts négatifs du changement climatique et de sa variabilité. Des décennies de recherche et d'expérience ont montré que l'intégration d'arbres dans ces systèmes culturaux permettait aux paysages agricoles de générer des rendements et des revenus de plus en plus suffisants pour subvenir aux moyens de subsistance de la population pauvre des zones rurales (Boffa, 1999 ; Francis et al., 2015 ; Garrity et Bayala, 2019 ; Haglund et al., 2011 ; Smale et al., 2018).

Au Niger, la pratique de l'agroforesterie repose surtout sur la Régénération naturelle assistée (RNA), une méthode de protection des arbres qui consiste, au lieu de planter des jeunes plants d'arbres sur des terres agricoles, à identifier, à protéger activement et à assurer la repousse d'arbres et de souches d'arbustes sauvages dans les champs (Reij et Garrity, 2016). Les arbres sont intégrés dans des champs ou des paysages agricoles (souvent appelés prairies-parcs agroforestières) qui accueillent sinon des cultures annuelles ou des troupeaux de pâturage (Boffa, 1999). La pratique de la RNA comprend plusieurs étapes (Garrity et Bayala, 2019) : lors du défrichage des terres destinées au pâturage ou à la production agricole, les fermiers identifient les souches des espèces d'arbres sauvages qu'ils souhaitent garder sur leurs champs. Comme les souches poussent à partir d'un système racinal déjà formé et vivant, leurs chances de survie et de croissance dans des conditions arides sont bien meilleures que celles de plants d'arbres repiqués. Les fermiers parviennent alors activement à faire croître les souches sélectionnées en canopée, la densité des arbres variant d'environ 40 à 150 arbres par hectare (Pye-Smith, 2013 ; Smale et al., 2018).

Instaurée pour la première fois au Niger en 1983, la promotion de la RNA fut une réaction décisive face aux sécheresses des années 1970 et 80 qui, accompagnées de la pression démographique croissante, avaient gravement altéré l'équilibre écologique existant. Trente-quatre ans plus tard, on estime que les prairies-parcs agroforestières recouvrent plus de sept millions d'hectares de terres au Niger, un succès qui témoigne des multiples avantages que les arbres apportent aux moyens de subsistance des fermiers (Francis et al., 2015 ; Smale et al., 2018). Les prairies-parcs agroforestières du Niger se trouvent surtout dans la zone agricole qui s'étend sur la partie sud du pays, généralement le long du fleuve Niger et dans des territoires où la présence humaine est marquée. La plus forte concentration se situe dans les régions de Tahoua, de Maradi et de Zinder (Pye-Smith, 2013).

Les espèces privilégiées diffèrent selon les lieux. D'après Garrity et Bayala (2019), les espèces les plus communes pour réaliser la RNA dans les zones arides africaines sont notamment le baobab africain (*Adansonia digitata*), qui fournit des fruits et des feuilles nutritifs ; le karité (*Vitellaria paradoxa*) qui fournit du beurre utilisé en cuisine, pour le chocolat et les cosmétiques ; le gommier du Sénégal (*Acacia senegalensis*) qui fournit une gomme utilisée dans de nombreux aliments ; et l'acacia albida (*Faidherbia albida)*, qui enrichit les sols et produit des cosses et du feuillage précieux pour le fourrage. *Faidherbia albida,* un arbre légumineux fixateur d'azote, possède la propriété unique de présenter une phénologie inverse qui le rend particulièrement intéressant aux yeux des fermiers nigériens et d'Afrique de l'Ouest. Contrairement à d'autres arbres, il perd ses feuilles au début de la saison des pluies, offrant ainsi une fertilisation des sols au bon moment et un ombrage limité qui permet aux fermiers de faire pousser leurs cultures à l'abri de la canopée durant la saison des pluies (Pye-Smith, 2013).

En matière d'adaptation, les systèmes agroforestiers produisent de nombreux avantages pour les moyens de subsistance locaux. Les plus directs proviennent de la diversification des produits du système agricole issus de la récolte de fruits, de fruits à coque, de bois de charpente ou de feu que les fermiers peuvent utiliser ou vendre sur les marchés locaux. Les canopées d'arbres bien établies créent des microclimats favorables au-dessous d'elles. Elles réduisent les pics de températures de plusieurs degrés et atténuent le stress thermique qui menace les cultures sensibles à la chaleur et le bétail (Dinesh et al., 2017). Une densité suffisante d'arbres peut contribuer à la recharge du niveau des eaux souterraines. Par contre, dans les systèmes moins denses, les racines profondes des arbres peuvent absorber de l'eau des couches profondes vers les strates de surface et permettent de soutenir les cultures lors de vagues de sécheresse prolongées (Garrity et Bayala, 2019). Sur les champs, les arbres font également office de brise-vent, protégeant les cultures des vents forts et des tempêtes de sable, et ils représentent un moyen efficace pour contrôler l'érosion des sols due aux vents et aux inondations.

Si le Niger subit déjà aujourd'hui les effets du changement climatique par l'augmentation des températures, les variations des précipitations et une fréquence plus élevée des événements extrêmes comme les sécheresses ou les inondations, la promotion soutenue des systèmes agroforestiers au travers de la RNA offre un potentiel important pour renforcer la résilience des moyens de subsistance locaux face au changement climatique. Dans les sous-chapitres suivants, les potentiels au niveau biophysique et socio-économique de la Régénération naturelle assistée en tant que stratégie d'adaptation au changement climatique sont examinés plus en détail et discutés.

7.2 Potentiel d'atténuation des risques biophysiques

La modélisation de l'interaction arbre-culture dans le modèle DSSAT est limitée. Toutefois, les effets de l'agroforesterie, surtout au niveau des propriétés des sols, peuvent être imités dans le modèle. Ainsi, nous avons augmenté la teneur du sol en carbone organique (CO) et en azote de 20% en référence à une méta-analyse qui montrait que c'était le bénéfice moyen de l'agroforesterie d'après différents systèmes, zones agro-écologiques, types de sols et climats (Kuyah et al., 2019). L'agroforesterie permet d'augmenter la teneur du sol en CO par la fixation photosynthétique du carbone de l'atmosphère et son transfert vers les sols. C'est la première méta-analyse qui montre qu'en Afrique subsaharienne, les systèmes agroforestiers peuvent accroître les rendements agricoles tout en maintenant et en régulant les propriétés des sols.

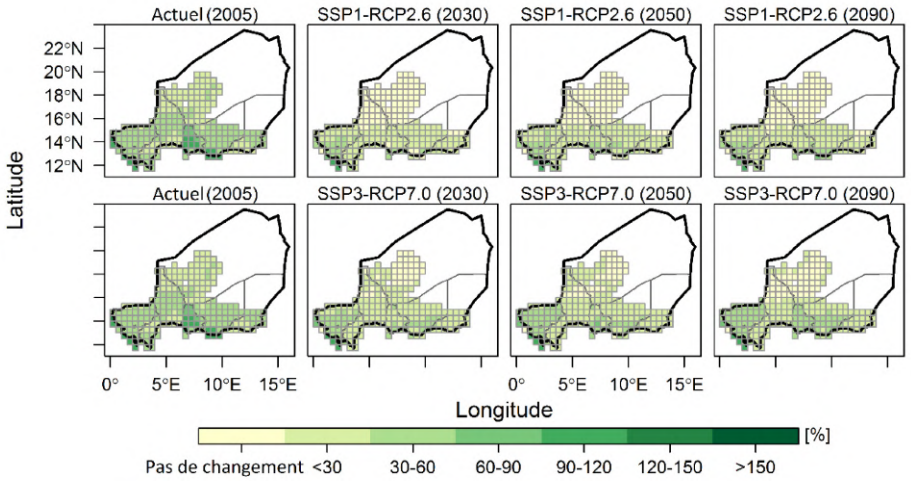


Figure 49 : Répartition spatiale des variations de rendements du sorgho avec simulation de l'agroforesterie comparées aux rendements actuels sans intervention au Niger.

La carte de la répartition spatiale montre les impacts sur les rendements entraînés par la mise en œuvre de l'agroforesterie au Niger (Figure 49). Dans l'ensemble, les résultats montrent que l'agroforesterie peut accroître les rendements de jusqu'à 150%, en particulier au sud du Niger (régions de Zinder et de Maradi). La teneur des sols en CO dans la région du sud est déjà élevée comparée à d'autres régions du Niger, et une augmentation supplémentaire de 20% de cette teneur a un impact considérable sur les rendements de sorgho par rapport à d'autres régions où la fertilité des sols pourrait déjà être trop faible. Ainsi, l'impact de l'agroforesterie sur les rendements de sorgho provient de l'association de l'ombrage et des effets fertilisants accrus, qui sont importants pour de nombreuses régions du pays qui présentent une faible utilisation d'engrais.

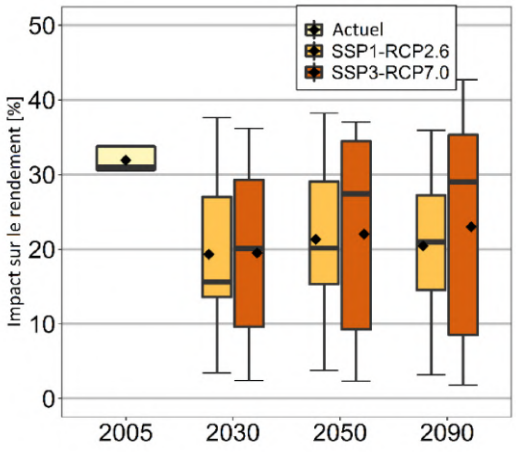


Figure 50 : Intercomparaison des impacts de l'agroforesterie sur les rendements à différentes périodes.

La figure 50 montre la variabilité des impacts sur les rendements au fil du temps pour différents scénarios. Les deux scénarios (émissions élevées et réduction des émissions) ont des impacts similaires (jusqu'à 40% d'augmentation des rendements) au fil du temps. À la différence d'autres stratégies d'adaptation, l'impact de l'agroforesterie sur les rendements s'accroît au fil du temps parallèlement à l'augmentation du niveau des émissions, la plus forte augmentation se produisant en vertu du scénario d'émissions élevées en 2090, même si dans tous les cas, ce bénéfice est plus

faible que celui réalisé dans les conditions climatiques actuelles. Ce schéma des impacts montre que l'agroforesterie est très prometteuse pour les rendements dans le cadre du changement climatique au Niger.

La figure 51 montre les impacts de l'agroforesterie sur les rendements suivant les régions selon les deux scénarios d'émissions et les différentes périodes. Toutes les régions présentent des impacts sur les rendements allant jusqu'à 60%. Les régions déjà pourvues d'une teneur en CO plus élevée dans le sol que d'autres régions présentent une projection d'augmentation de leurs rendements pouvant atteindre 60%, tandis que d'autres régions présentent une projection d'augmentation des rendements pouvant aller jusqu'à 30%. À Zinder, à Maradi et à Tillabéri, les impacts de l'agroforesterie sur les rendements sont plus forts en vertu du scénario d'émissions élevées et à des périodes ultérieures, lorsque les effets climatiques devraient s'intensifier, alors que ces impacts restent relativement similaires dans les autres régions. Cela est dû au bénéfice simulé permettant de garder une température tolérable pour la culture sous la canopée, surtout lorsque les scénarios d'émissions élevées prévoient des augmentations de températures pouvant atteindre +4 °C à la fin du siècle. La faible réaction des rendements de sorgho par rapport à l'agroforesterie comparée aux rendements actuels à Diffa et à Tahoua est due au fait que pour ces deux régions, les projections indiquaient des variations de rendements positives dans le cadre du changement climatique, alors que pour d'autres régions, les projections indiquaient des changements négatifs. De ce fait, l'ombrage atténuera davantage, bien plus que la fertilisation, le bénéfice de l'agroforesterie.

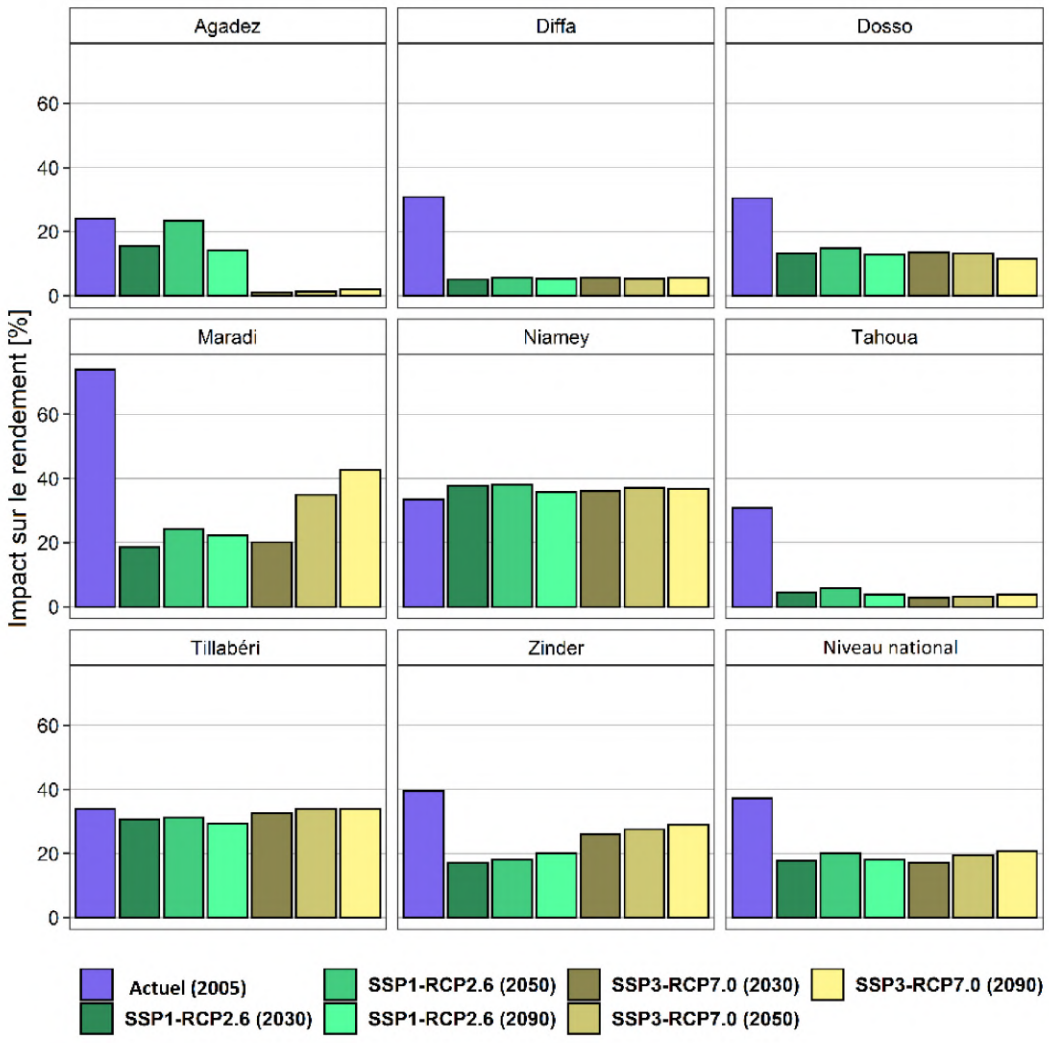


Figure 51 : Impacts de l'agroforesterie sur les rendements par région selon les différents scénarios et les différentes périodes.

Différentes études ont été menées pour évaluer l'impact de la RNA sur les rendements agricoles. En 2009, selon les estimations de Reij et al. (2009), les zones du Niger où l'on recourait à la RNA devaient connaître une augmentation de la moyenne des rendements de sorgho de 100 kg/ha. Grâce à la pratique de la RNA sur 5 millions d'hectares à l'époque, ils ont calculé que cela entraînerait la production de 500 000 tonnes supplémentaires de céréales par an, qui pourraient nourrir 2,5 millions de personnes en plus. Toutefois, ces fortes augmentations de rendements sont déjà réalisables dans les zones à la productivité faible, et même avec des augmentations de rendements de 300%, ce potentiel reste inférieur à la capacité de production après éradication de toutes les limites à la production agricole.

Comme l'a démontré l'Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (ICRISAT) au Niger, les augmentations de rendements induits par la RNA dépendent du contexte local et de la gestion des systèmes agroforestiers. Malgré tout, l'impact général de l'adoption de l'agroforesterie entraînera vraisemblablement des gains de rendements agricoles positifs pour le sorgho, mais aussi pour le millet et le niébé, pourvu que le recours au compost et aux engrais NPK reste modéré ou faible.

7.3 Analyse coûts-avantages : utilisation de la RNA pour intégrer les arbres *Bauhinia rufescens* dans la production du millet et du niébé

Les expériences passées ont montré que l'intégration de l'agroforesterie dans un système d'alternance des cultures renforce la résilience de ce système et permet d'accroître considérablement les rendements. Nous avons analysé la viabilité économique des systèmes associant millet-niébé-agroforesterie aux arbres *Bauhinia rufescens* et comparé les coûts et avantage de ces systèmes avec un système d'alternance des cultures du millet et du niébé n'adoptant pas l'agroforesterie. Nous comparons deux scénarios de changement climatique différents, chacun projeté jusqu'en 2050, en nous basant sur un scénario référentiel décrivant la situation actuelle.

7.3.1 Référentiel et scénarios

Le référentiel et les scénarios sont définis ainsi :

Référentiel (sans mesures, sans impacts climatiques) : Production pluviale du millet et du niébé dans un système d'alternance des cultures sans agroforesterie, dans les conditions climatiques et technologiques actuelles dans la région.

Pas d'adaptation (pas de mesures, impacts du changement climatique en vertu des scénarios de réduction des émissions et d'émissions élevées) : Alternance de la culture pluviale du millet et du niébé sans agroforesterie. Les revenus du marché et les coûts de production du système sont extrapolés jusqu'en 2050 en présupposant des impacts du changement climatique sur les rendements en vertu d'un scénario de réduction des émissions et d'un scénario d'émissions élevées.

Adaptation (mesures, impacts du changement climatique en vertu des scénarios de réduction des émissions et d'émissions élevées) : Production pluviale du millet et du niébé dans un système d'agroforesterie intégrant les arbres *Bauhinia rufescens*. Les revenus du marché et les coûts de production du système sont extrapolés jusqu'en 2050 en présupposant des impacts du changement climatique sur les rendements similaires à ceux du scénario "sans adaptation" en vertu des scénarios de réduction des émissions et d'émissions élevées.

7.3.2 Données de l'étude

Les données des ménages sur lesquelles est basée cette analyse proviennent de dix exploitations situées au sud du Niger dans la région de Maradi (département d'Aguié). Pour adopter l'agroforesterie dans leurs champs, les familles concernées ont reçu l'assistance du *Projet de Développement Rural de l'Arrondissement d'Aguié* (PDRAA). La plupart des systèmes agroforestiers analysés ont été installés il y a plus de 20 ans, associant le millet et le niébé à 200 arbustes de l'espèce *Bauhinia rufescens*, plantés à cinq mètres d'intervalle, sur une superficie moyenne d'exploitation de 1,7 ha.

Cependant, tenant compte des paramètres économiques standards pour les exploitations agricoles et pour une meilleure comparaison de tous les scénarios, nous analysons les revenus moyens du marché et les coûts de production associés pour un hectare. Les fermiers ont fourni des informations détaillées sur les coûts de l'installation des arbres la première année et les suivantes, sur les rendements de millet et de niébé avant et après l'adaptation, sur les rendements des produits des arbres et sur les prix du marché dans la région. Afin de déterminer les variations des revenus du marché et des coûts de production dus à l'adaptation, les points suivants sont pris en compte pour les fermiers qui adoptent la stratégie.

- Les coûts incluent les coûts de main-d'œuvre pour l'installation du système, comprenant douze jours de planification, la préparation de la pépinière et de la terre, le semis, la transplantation des arbres et leur élagage, l'installation de clôtures et l'application d'engrais. Quelques-uns des agriculteurs ont engagé des ouvriers externes, mais la plupart des travaux ont été effectués par des membres de la famille. En utilisant le taux de rémunération journalier moyen des ouvriers agricoles extérieurs à l'exploitation obtenu à partir de l'étude, qui correspond à 1 080 francs CFA (~ 2 USD)[8], nous obtenons des coûts de main-d'œuvre s'élevant à 8 639 francs CFA (~ 16 USD) pour la première année de l'installation, et à 2 880 francs CFA (~ 5 USD) pour la maintenance durant la deuxième et la troisième année. Comme les fermiers ont mentionné avoir récolté des produits issus des arbres à partir de la quatrième année, les coûts de la récolte du fourrage, du bois de feu et des feuilles sont ajoutés, ce qui correspond à 3 403 francs CFA (~ 6 USD) par hectare la même année, et s'élève à 4 778 francs CFA (~ 9 USD) la cinquième année et toutes les années consécutives (WASCAL, 2020a).
- Les principaux facteurs de coûts sont ceux des intrants comme les jeunes plants, les engrais naturels, à base d'urée ou NPK, les pesticides et les fongicides, qui représentent 32 369 francs CFA (~ 59 USD) la première année, mais se réduisent à 24 430 francs CFA (~ 45 USD) à partir de la deuxième puisque moins de nouveaux jeunes plants sont requis. Les arbres *Bauhinia rufescens* ont une durée de vie de 67 ans en moyenne, de ce fait, le renouvellement complet du système agroforestier se trouve en dehors de la période considérée. Chaque année, toutefois, certains arbres doivent être renouvelés par les fermiers (ibid.).
- Les rendements plus élevés du millet et du niébé induits par le nouveau système de croissance entraînent aussi une charge de travail plus importante pour la récolte, le séchage et le battage. Les coûts de main-d'œuvre liés à ces activités sont donc ajustés chaque année en se servant du ratio entre les rendements avec adaptation et les rendements référentiels avant l'adaptation (WASCAL, 2020a).
- Les frais d'équipement ne sont pas inclus dans les calculs puisque tous les outils nécessaires au système agroforestier sont aussi utilisés pour la culture du millet et du niébé et n'occasionnent donc pas de coûts supplémentaires.
- Les coûts d'opportunité ou revenus perdus respectivement, sont calculés pour le temps de travail passé sur l'installation et l'entretien du système agroforestier. Le tarif journalier utilisé est un tarif journalier moyen pour différentes activités de la ferme et externes à la ferme comme la production d'huile, l'élevage, etc., et s'élève à 2 648 francs CFA (~ 5 USD). Les coûts d'opportunité sont donc les plus élevés l'année de l'installation, c'est-à-dire 30 165 francs CFA (~ 55 USD), et baissent ensuite à 17 008 francs CFA (~ 31 USD) dès l'année 2025 (ibid.).
- Pour calculer les revenus, nous utilisons un prix du marché de 257 francs CFA (~ 0,47 USD) pour un kilogramme de millet et de 263 francs CFA (~ 0,48 USD) pour un kilogramme de niébé. Ces prix sont des valeurs moyennes des prix du marché indiqués dans l'étude sur les ménages. D'après les agriculteurs interviewés, les rendements de millet ont augmenté de 260 kg par hectare entre la première et la cinquième année d'adaptation. Pour le niébé, le gain de rendement après l'adaptation est de 85 kg par rapport aux rendements de référence de 215 kg/ha pour le millet et de 130 kg/ha pour le niébé. À partir des revenus acquis par l'excédent, nous avons extrapolé les revenus de marché supplémentaires et les coûts de main-d'œuvre additionnels jusqu'en 2050 (WASCAL, 2020a).

[8] Tous les taux de change ont été recueillis le 19.04.2021 sur : https ://ec.europa.eu/info/funding-tenders/how-eu-funding-works/information-contractors-and-beneficiaries/exchange-rate-inforeuro_en

7.3.3 Suppositions

Pour compléter les informations des données de l'étude, des suppositions complémentaires sur les effets des progrès technologiques, de l'inflation et du changement climatique ont dû être posées :

- Les développements des rendements de millet induits par le changement climatique dans la région de Maradi sont dérivés des projections du PIK utilisant le sorgho comme indicateur en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 avec un effet positif sur les rendements grâce à l'adaptation. Les effets du changement climatique sur le niébé ont été calculés en recourant au modèle IMPACT (IFPRI, 2015), qui suppose une trajectoire démographique et économique croissante en vertu de SSP2 avec un scénario de réduction des émissions selon RCP4.5 et un scénario d'émissions élevées selon RCP8.5. Dans les calculs de l'ACA qui suivent, l'évolution des rendements de millet en vertu de SSP1-RCP2.6 et des rendements de niébé en vertu de SSP2 et RCP4.5 est récapitulée dans le cadre d'un scénario de réduction des émissions, tandis que l'association du millet en vertu de SSP3-RCP7.0 et du niébé en vertu de SSP2 et RCP8.5 est fusionnée en vertu d'un scénario d'émissions élevées.
- Nous supposons que la productivité des agriculteurs participants augmente de 1,63% par an pour le millet et de 7,90% pour le niébé grâce au changement technologique autonome. Il s'agit d'extrapolations des hausses des rendements du millet et du niébé entre 2000 et 2018 dans la région cible (WASCAL, 2020b).
- Pour représenter le taux d'inflation, nous avons calculé le taux de croissance exponentiel du PIB par habitant au Niger ces 30 dernières années, sa valeur est de 2,35% (FAOSTAT, 2021b).

7.3.4 Résultats

Le calcul des coûts et des revenus présentés ci-dessus pour l'installation d'un système agroforestier dans l'alternance de la culture du millet et du niébé montre que, dans l'intervalle temporel jusqu'en 2050, la stratégie d'adaptation devient rentable pour les fermiers, car elle offre un retour positif sur l'investissement. Cela s'applique aux deux scénarios de changement climatique : toutefois, le scénario d'émissions élevées présente de bien meilleurs résultats que le scénario de réduction des émissions en raison de l'inclusion des effets additionnels du changement climatique sur les rendements. Les chiffres clés suivants doivent particulièrement être analysés :

- Comme on peut le voir à la figure 52, la valeur actuelle nette (VAN) est négative pendant quelques années, démarrant à -71,327 CFA (~ -131 USD) en 2020. La VAN continue de baisser au cours des premières années à cause d'un flux de trésorerie négatif jusqu'en 2022 en vertu du scénario d'émissions élevées, et jusqu'en 2023 en vertu du scénario de réduction des émissions. Cela s'explique par les coûts élevés de mise en place et les revenus tardifs des produits issus des arbres.
- Toutefois, pour les deux scénarios, le flux de trésorerie net des fermiers devient positif en 2023 et la VAN se met à augmenter régulièrement, devenant alors positive en 2026, année marquant le seuil de rentabilité entre les coûts nets accumulés et les bénéfices nets. En d'autres termes, les investissements deviennent rentables au bout de cinq ans. En 2050, la VAN du scénario de réduction des émissions est de 841 563 francs CFA (~ 1 550 USD) et de 1 173 579 francs CFA (~ 2 157 USD) dans le cas du scénario d'émissions élevées.
- Par conséquent, le taux de rendement interne (TRI) est positif et représente près de 24% pour une adaptation en vertu du scénario de réduction des émissions et même 28% pour une adaptation en vertu du scénario d'émissions élevées. Pour indiquer un investissement rentable, le TRI doit être supérieur au taux d'intérêt local. D'après l'étude, celui-ci est de 5% sur le site de notre étude de cas (WASCAL, 2020a) [9] Comme les TRI pour les deux scénarios sont bien plus importants, passer d'une production de millet et de niébé sans agroforesterie à un système où ces deux cultures sont associées à l'agroforesterie s'avère rentable pour les fermiers.

9 En supposant une perspective de rentabilité globale, souvent prise pour des ACA locales, tout TRI supérieur à 6% est considéré comme un investissement rentable.

- Le rapport avantages-coûts (A/C) de l'investissement pour l'adaptation le confirme par les résultats suivants : en 2050, il est de 1,71 en vertu du scénario de réduction des émissions et de 1,99 en vertu du scénario d'émissions élevées (voir Tableau 7).

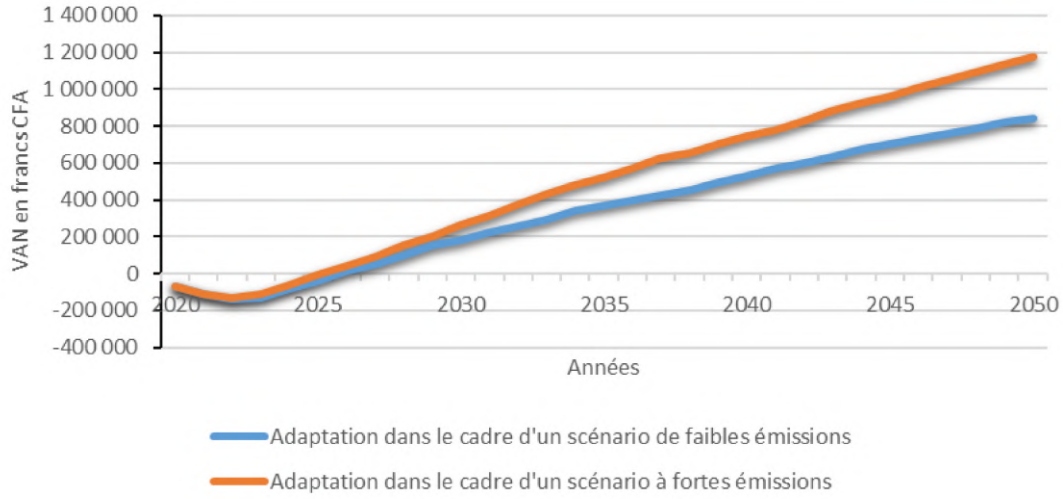


Figure 52 : Évolution de la valeur actuelle nette dès transition à la production de millet et de niébé dans un système agroforestier avec des arbres Bauhinia rufescens.

Tableau 7 : Récapitulatif des principaux indicateurs ACA pour la transition à l'alternance des cultures du millet et du niébé avec l'agroforesterie.

	Adaptation en vertu du scénario de réduction des émissions	*Adaptation en vertu du scénario d'émissions élevées*
TRI	23,46%	28,10%
VAN	841 563 francs CFA (~ 1 550 USD)	1 173 579 francs CFA (~ 2 157 USD)
A/C	1,71	1,99

7.4 Évaluation multicritère

7.4.1 Potentiel de développement

Les parties précédentes ont montré que l'ARN est une stratégie à la fois rentable et capable de renverser directement certaines répercussions négatives du changement climatique sur les rendements agricoles. Cependant, ses impacts bénéfiques, surtout sur les rendements agricoles, ne se réalisent que dans le cadre d'une gestion adéquate, en garantissant que l'ombrage des cultures ne dépasse pas un certain seuil dans des emplacements où les températures élevées et les conditions climatiques changeantes projettent une perte de rendements pour les périodes à venir. En raison de son instauration simple, peu coûteuse, de ses avantages multiples, des décennies d'expérience qui y sont associées et du grand intérêt qu'elle suscite auprès des acteurs, cette pratique présente un potentiel de développement important au Niger.

Comme la Convention des Nations unies sur la lutte contre la désertification et un grand nombre d'acteurs issus des communautés de donateurs et de développement africaines et internationales soutiennent l'établissement d'un "Great Green Wall" (une "grande muraille verte") au Sahel, un élan important favorise l'expansion de cette pratique. Cette initiative panafricaine consiste à planter des arbres et à reverdir une bande de 7000 km de long et de 15 km de large dans 11 pays sahéliens (dont le Niger), afin de stopper la désertification, de rétablir les écosystèmes et d'améliorer les

moyens de subsistance des populations dans les pays participants (Goffner et al., 2019). Lancée pour la première fois en 2008, cette initiative vient récemment d'entrer dans une nouvelle phase soutenant les Objectifs de développement durable (ODD) pour 2030, auxquels elle peut contribuer de plusieurs manières, par ex. en appuyant directement les objectifs 2 (Faim "zéro"), 13 (Mesures relatives à la lutte contre les changements climatique) et 15 (Vie terrestre), entre autres. La RNA est une des pratiques contribuant directement à la réalisation des objectifs de cette initiative et peut donc attirer des fonds de financement supplémentaires et un soutien au programme de la part des acteurs du développement (CNULCD, 2020).

7.4.2 Développement d'avantages conjoints

Outre le renforcement de la résilience au changement climatique et le développement des revenus et des moyens de subsistance des fermiers, d'autres avantages conjoints supplémentaires liés à l'expansion de cette pratique sont évidents. En particulier, la biomasse supplémentaire provenant des arbres accroît le captage et le stockage du carbone, ce qui contribue considérablement aux mesures d'atténuation : les systèmes agroforestiers accumulent entre 1,1 et 28,2 t CO_2 ha^{-1} an^{-1} dans la biomasse et entre 3,7 et 27,3 t CO_2 ha^{-1} an^{-1} dans les sols (Dinesh et al., 2017).

Les systèmes agroforestiers contribuent positivement à la santé et à la nutrition. Comme Dinesh et al. (2017, p.16) le suggèrent dans une étude générale sur les options d'adaptation, "une relation positive a été trouvée entre les indicateurs de la qualité alimentaire des enfants âgés de moins de cinq ans et le niveau de couvert arboré en Afrique, associés à une consommation maximale de fruits et de légumes avec un niveau de couvert arboré moyen". Les femmes ont pu renforcer leur position économique dans les communautés où elles sont devenues propriétaires d'arbres et ont ainsi gagné en revenus supplémentaires par la vente de produits issus des arbres (Reij et al., 2009). La facilité d'accès au bois de feu fourni par les arbres a permis aussi de réduire considérablement la charge de travail des femmes qui passent habituellement plusieurs heures par jour à collecter du bois de feu ou du fumier sec pour cuisiner. En utilisant du bois de feu de meilleure qualité (surtout des arbres *Faidherbia albida*) au lieu du fumier sec, les femmes sont moins exposées aux fumées toxiques pendant la préparation des repas, et leur santé est mieux préservée (Larwanou et al., 2006). Francis et al. (2015) ont observé que les enfants, qui passaient habituellement des heures à surveiller le pâturage du bétail, pouvaient désormais nourrir les animaux grâce aux produits facilement accessibles des arbres et trouver du temps pour aller à l'école ou se divertir.

Comme la production et la vente de bois créent également des sources de revenus lucratives dans les zones rurales, les jeunes fermiers sont moins contraints à l'émigration. Ces revenus supplémentaires entraînent des effets multiplicateurs dans les communautés villageoises en encourageant l'instauration de petites entreprises qui créent des emplois et fournissent aux communautés rurales des matériaux de construction, des produits médicaux et du fourrage (Larwanou et al., 2006). En outre, ces sources de revenus supplémentaires renforcent la résilience lorsque des chocs climatiques détruisent ou réduisent la récolte annuelle, et les fruits ou noix comestibles prennent une valeur particulière durant la saison creuse avant la récolte, lorsque la nourriture se raréfie. Les systèmes agroforestiers fournissent en outre des intrants précieux pour la production agricole comme l'alimentation animale, la fertilisation organique grâce aux feuilles des arbres ou à la fixation de l'azote, ou l'ombrage pour les plantes cultivées et le bétail (Garrity et Bayala, 2019 ; Reij et Garrity, 2016). Dans l'ensemble, l'établissement de systèmes agroforestiers présente une approche de résilience pour les paysages des communautés agricoles, augmente le capital social et réduit les tensions et les préoccupations socio-économiques et environnementales.

7.4.3 Résultats négatifs potentiels

Les systèmes agroforestiers et la RNA peuvent être mis en œuvre sous une multitude de formes, et souvent, la façon de les concevoir pour en tirer les meilleurs avantages dépend du contexte spécifique local. Le choix soigneux des espèces d'arbres et de leur densité en fonction du contexte social et environnemental au niveau local est un élément incontournable pour réussir l'intégration dans les systèmes agricoles locaux. Parfois, le degré d'ombrage ou la rivalité entre arbres vis-à-vis des nutriments et des ressources en eau peuvent aussi entraîner une réduction non désirée des rendements d'autres cultures ou du bétail.

Dans certains cas, des rivalités vis-à-vis des terres peuvent surgir entre des pratiquants de l'agroforesterie et d'autres groupes d'utilisateurs. Par exemple, protéger les jeunes plants d'arbres dans le cadre de l'agroforesterie risque de restreindre les surfaces de pâturages disponibles et le fourrage du bétail au moment initial de la mise en place des systèmes agroforestiers, une source de conflit potentiel entre différents groupes d'utilisateurs des terres (Garrity et Bayala, 2019). Une planification adaptée et l'instauration de couloirs pour le bétail permettraient d'éviter de tels conflits.

7.4.4 Obstacles à la mise en œuvre

Au Niger (et dans d'autres pays d'Afrique), la possession privée et l'utilisation des arbres et de leurs produits ont longtemps été illégales ou nécessitaient des autorisations particulières de l'État coûteuses et difficiles à obtenir. Les fermiers étaient même menacés d'emprisonnement pour l'élagage d'un arbre et ont souvent été victimes d'extorsion de la part de forestiers les accusant à tort 'd'enfreindre la loi' (Garrity et Bayala, 2019). Ces pratiques furent peu à peu supprimées, mais ce n'est qu'en 2004 qu'une réforme de la législation forestière du Niger leva l'interdiction pour les fermiers d'utiliser les arbres et leurs produits (ibid.). Cette réforme entraîna la propagation de la pratique de la RNA parmi eux. Toutefois, beaucoup craignent ne pas pouvoir profiter des soins apportés aux arbres, ce qui réduit leur motivation à s'engager dans cette pratique (Fritz et Graves, 2016). De nos jours, l'un des obstacles courants à la mise en œuvre des systèmes agroforestiers, c'est le grand laps de temps de plusieurs années entre l'investissement pour planter les arbres et l'obtention des rendements, une situation souvent difficile pour les petits exploitants qui ne peuvent se permettre d'attendre des années pour générer des revenus à partir de leurs investissements (Dinesh et al., 2017). Dans le cadre de la RNA, les coûts d'investissements initiaux sont comparativement faibles du fait que presqu'aucun intrant n'est nécessaire, mais si les fermiers souhaitent introduire de nouvelles espèces d'arbres qui nécessitent l'achat de plants et de matériel pour les repiquer, cela peut devenir un enjeu. Dans ce cas, les fermiers doivent être en mesure d'accéder aux intrants et aux plants ainsi qu'aux ressources financières nécessaires, dont l'absence pourrait empêcher l'adoption de la pratique.

7.4.5 Besoins en matière de soutien institutionnel

Les fermiers ont besoin de soutien institutionnel afin de clarifier leur situation foncière. Celle-ci empêche couramment nombre d'entre eux de se lancer dans des investissements à long terme vis-à-vis de leurs terres. Des campagnes informatives et éducatives au niveau local comme la diffusion d'informations de fermier à fermier et des visites organisées de démonstration dans les fermes sont des moyens qui ont fait leurs preuves pour promouvoir l'adoption de la RNA (Garrity et Bayala, 2019). Des campagnes d'informations supplémentaires et adaptées, par le biais par ex. des programmes radio sur l'agriculture et de services de vulgarisation mieux équipés et bien formés sont nécessaires pour sensibiliser davantage au sujet des avantages de la RNA au niveau local. L'instauration de marchés ruraux spécialisés dans le bois, où les fermiers pourraient mettre en vente leurs produits dérivés de cette matière, contribuerait fortement à propager l'adoption de la pratique (Garrity et Bayala, 2019 ; Reij et Garrity, 2016). Au cours de l'atelier des parties prenantes que nous avons mené, il a été souligné que le renforcement des capacités des organisations de femmes peut avoir un grand impact sur la protection de l'environnement et surtout sur la promotion de l'agroforesterie et de la FMNR.

7.5 Conclusion

Si l'on tient compte de tous les critères mentionnés, l'agroforesterie présente un fort potentiel d'atténuation des risques et divers avantages positifs comme stratégie d'adaptation dotée d'un fort potentiel de développement (Tableau 8). Toutefois, un support institutionnel serait nécessaire pour, le cas échéant, clarifier le statut de la propriété foncière, afin de renforcer l'adoption de cette pratique par les petits exploitants.

Tableau 8 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de l'agroforesterie.

Atténuation des risques	Gradient de risque	Rapport coût-efficacité	Développement	Avantages conjoints potentiels	Répercussions inadaptées potentielles	Obstacles à la mise en œuvre	Besoins en matière de soutien institutionnel
Élevée	Indépendance vis-à-vis des risques	Moyen à fort	Fort	Forts	Faibles	Moyens	Moyens



Chapitre 8 – Gestion intégrée de la fertilité des sols

8.1 Contexte et description de la technologie

Au Niger, les agriculteurs sont confrontés à des difficultés diverses, telles que la fertilité faible des sols sableux, la variabilité des quantités de précipitations et l'instabilité de la situation sociale et politique. L'agriculture repose de plus en plus sur des terres marginales ou même altérées, car la croissance démographique et la disponibilité limitée de terres fertiles entraînent une pression accrue sur les ressources naturelles (Fatondji et al., 2006). L'érosion par l'eau et le vent, l'épuisement des nutriments, la salinisation et le croûtage des sols sont quelques-uns des processus de dégradation des terres les plus importants. L'humidité insuffisante du sol est un facteur essentiel limitant la production agricole, qui résulte essentiellement de la perte de l'eau de pluie par le ruissellement de surface et l'évaporation (Fox et Rockström, 2003 ; Hoogmoed, 1999). La préservation de l'eau et des sols devrait donc être une priorité au Niger.

La gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) est définie comme un "ensemble de méthodes de gestion de la fertilité des sols qui comprend nécessairement l'utilisation d'engrais, d'intrants biologiques et de germoplasmes améliorés, combinés au savoir sur l'adaptation de ces méthodes aux conditions locales, dans le but de maximiser l'efficacité agronomique des nutriments appliqués et d'améliorer la production agricole. Tous les intrants doivent être gérés selon des principes agronomiques solides" (Vanlauwe et al., 2010a). La GIFS est utilisée pour remédier à la dégradation des sols et à l'épuisement des nutriments. Elle nécessite des interventions ajustées aux conditions biophysiques et socio-économiques prévalentes au niveau de l'exploitation et de la parcelle (Vanlauwe et al., 2015). La GIFS ne se caractérise pas par des méthodes culturales spécifiques, il s'agit plutôt d'une "approche ouverte qui consiste à combiner les technologies disponibles de manière à préserver la qualité des sols tout en renforçant leur productivité" (Sanginga et Woomer, 2009, p. 13) et elle requiert donc une compréhension approfondie des ressources disponibles et des alternatives de leur utilisation ainsi qu'une évaluation continue et une réaction aux conséquences des pratiques mises en œuvre sur l'environnement et les rendements. Courant pour la pratique de la GIFS dans les zones arides, l'ensemble de pratiques de gestion appliqué au Niger est basé sur les objectifs suivants : 1) maximiser le captage de l'eau et réduire le ruissellement de surface, 2) réduire l'érosion par l'eau et le vent, 3) gérer les ressources biologiques limitées disponibles et 4) appliquer les engrais minéraux de manière stratégique (Sanginga et Woomer, 2009). Les interventions adaptées comprennent les trous de "tassa", les demi-lunes, les cordons pierreux, les diguettes filtrantes, les bandes enherbées, le paillage, le système de bocage, etc. Dans la section suivante, certaines de ces interventions seront décrites plus en détail.

Redécouverte à l'origine par des fermiers du Burkina Faso voisin après une période de rude sécheresse au Sahel au début des années 1980, la technique traditionnelle pour collecter l'eau appelée **tassa** (aussi connue sous le nom de zaï) s'est propagée à une vitesse surprenante au Niger vers la fin des années 1980 et est maintenant une technique courante associée à la GIFS dans le pays. Elle est mise en œuvre dans le but de réhabiliter les sols dégradés et encroûtés. Les agriculteurs creusent de petits trous de semis (20-30 cm de diamètre, 20-25 cm de profondeur et à environ 1 m d'intervalle) (Liniger et al., 2011).

Les demi-lunes fonctionnent de manière similaire, mais les trous creusés mesurent environ 2 m de diamètre, ont 15-20 cm de profondeur, et sont réalisés en forme de croissant sur une distance d'environ 8 m (Savadogo et al., 2011). Ces deux pratiques traditionnelles visent à accumuler l'eau avant de procéder au semis afin d'améliorer l'infiltration et d'accroître l'humidité du sol. Dans de nombreux cas et souvent en fonction de sa disponibilité, du fumier est ajouté à chaque trou, comme de la paille de millet, du fumier de bovin ou leur forme compostée, ce qui associe la collecte de l'eau à la gestion des nutriments pour réhabiliter les terres dégradées (Hassane et Reij, 2020). En outre,

cela peut améliorer l'efficacité des "tassa" et des demi-lunes (Sawadogo, 2011). Aussi, une méthode appelée micro-dosage, qui consiste à ajouter de petites quantités d'engrais minéraux aux points de semis dans les champs où l'on pratique la conservation de l'eau, est couramment utilisée au Sahel (Sanginga et Woomer, 2009). Au Niger, le millet est la culture la plus courante cultivée dans les tassa et les demi-lunes, mais certains agriculteurs cultivent également un mélange de millet et de sorgho.

Les tassa sont souvent associées à des alignements de pierres sur leurs contours pour améliorer l'infiltration de l'eau, réduire l'érosion des sols et l'envasement des trous (Liniger et al., 2011). Les cordons de pierres (ou cordons pierreux) sont des structures de contrôle de l'érosion qui consistent à empiler des pierres à faible distance le long des contours. Les cordons de pierres sont construits à une hauteur de 20-30 cm du sol et le long des contours naturels du terrain après avoir retiré 10-15 cm de terre à partir de leur ligne de pose. La distance entre les rangées de pierres est d'environ 20-50 cm, en fonction de l'inclinaison du terrain. Pour fonctionner au mieux, les cordons pierreux doivent être associés à des mesures biologiques comme faire pousser de l'herbe, planter des haies vives et des arbres, et utiliser le fumier et le paillage (Nill et al., 2014). Les cordons pierreux bien entourés de végétation peuvent, par exemple, réduire la température du sol et le protéger l'érosion causée par les vents. Faire pousser de l'herbe entre les pierres peut accroître l'infiltration et accélérer l'accumulation de sédiments fertiles (Liniger et al., 2011).

La durée de vie d'un cordon pierreux est de plus de 20 ans. Une accumulation progressive de sédiments se produit derrière les cordons, ce qui entraîne la formation de terrasses. Bien que la capacité des cordons à retenir l'eau diminue au fur et à mesure que les sédiments s'accumulent, la capacité d'infiltration du sol augmente grâce à la meilleure structure du sol, et l'inclinaison s'adoucit grâce à l'effet de terrassement. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque les cordons pierreux sont combinés à des mesures biologiques (plantation d'herbes, d'arbres et de haies) et à l'utilisation d'engrais biologique et de paillage (Nill et al., 2014).

La mise en œuvre de la GIFS permet d'assurer une utilisation plus efficace de l'eau, d'empêcher l'érosion, et de restaurer les sols dégradés. Elle peut donc être considérée comme une stratégie d'adaptation au changement climatique prometteuse. Lors d'un projet de huit années mis en œuvre à Tahoua, 5 765 hectares de terres gravement dégradés ont été réhabilités en terres productives, sans parler des effets répercutés sur la communauté agricole qui n'a certes pas pris part à ce projet mais a aussi adopté les technologies de la GIFS (Hassane et Reij, 2020). En améliorant l'efficacité de l'utilisation de l'eau, la GIFS permet de renforcer la résilience des agriculteurs face aux sécheresses et aux pénuries alimentaires associées. Ces aspects sont particulièrement importants dans un contexte tel que celui du Niger, où l'augmentation rapide de la population exerce une pression sur les ressources terriennes disponibles.

8.2 Évaluation biophysique du potentiel d'atténuation des risques

Pour notre étude de cas servant à présenter le potentiel d'atténuation des risques biophysiques de la GIFS, nous recourons à la technologie des "tassa" dans le cadre de la production de sorgho. Comme la stratégie d'adaptation des tassa n'est pas directement disponible comme option dans le modèle DSSAT, nous avons généré des conditions initiales des sols avec le module interne du DSSAT en gardant une disponibilité en eau de 60% et une teneur en azote de 62 kg/ha (Fatondji et al., 2012 ; Faye et al., 2018).

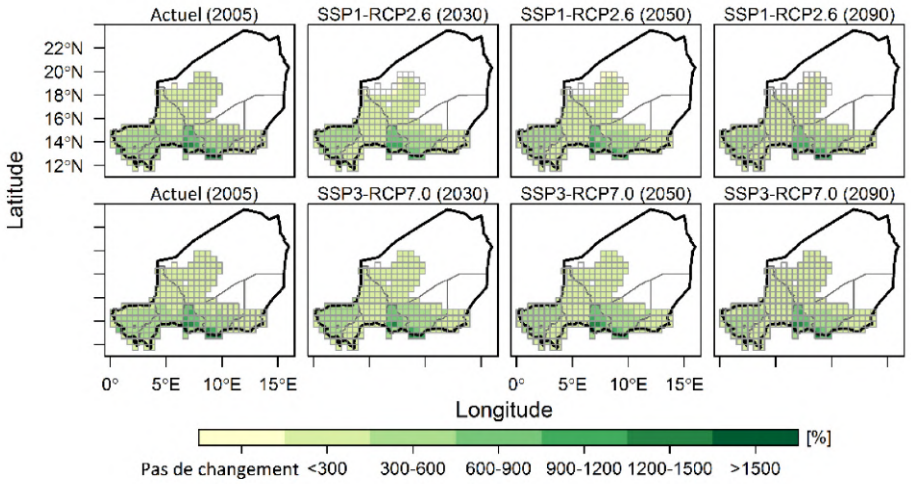


Figure 53 : Répartition spatiale de l'analyse des impacts avec la gestion intégrée de la fertilité des sols.

Comme on peut le voir à la figure 53, le recours aux tassa dans le cadre de la GIFS permet d'augmenter les rendements de sorgho sur l'ensemble des cellules de manière significative jusqu'à 1500%, en particulier dans le sud du Niger en vertu des deux scénarios d'émissions. La teneur du sol en carbone organique (CO) plus élevée dans le sud pourrait être une des raisons de l'extrême amélioration des valeurs de rendements (jusqu'à 1500%). Avec la mise en œuvre des tassa, on obtient en moyenne entre 300% et 600% d'augmentation des rendements au Niger sauf pour les régions de Zinder et de Maradi au sud.

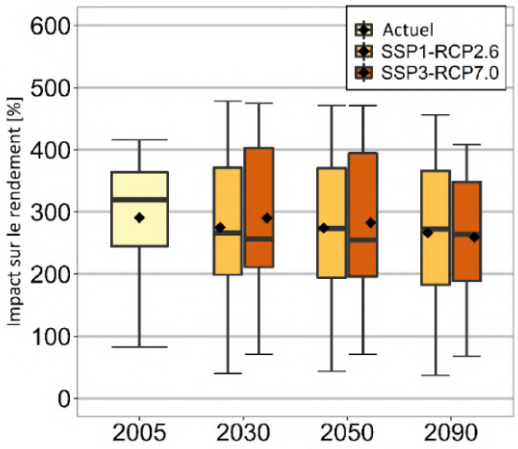


Figure 54 : Intercomparaison des impacts sur les rendements à différentes périodes.

La figure 54 montre la variabilité des impacts sur les rendements à différentes périodes au niveau régional. Les deux scénarios d'émissions (réduites et élevées) maintiennent au fil du temps des impacts réguliers sur les rendements pouvant atteindre 400%. L'ampleur des impacts positifs sur les rendements dans le cadre du changement climatique est plus élevée que les rendements potentiels dans les conditions climatiques actuelles pour les deux scénarios d'émissions. Cela peut s'expliquer par le fait que les conditions climatiques seraient davantage propices à l'avenir à la croissance du sorgho que les conditions actuelles.

La figure 55 montre les impacts sur les rendements de la technique des tassa au niveau régional selon les deux scénarios d'émissions et les différentes périodes. Toutes les régions connaissent des impacts positifs sur les rendements d'au moins jusqu'à 100% comparé à l'année de référence, c'est-à-dire l'an 2000. Dans la plupart des régions, les deux scénarios d'émissions ont des impacts similaires sur les rendements. En comparaison, les régions du sud (Maradi, Zinder, Niamey et Tillabéri) connaissent des impacts plus positifs que d'autres régions du Niger comme Agadez et Diffa. Dans l'ensemble, les résultats montrent que la technologie des tassa peut accroître les rendements de sorgho de plus de 350% comparé à une non-adoption de cette technologie et que cette augmentation reste stable dans des conditions de changement climatique.

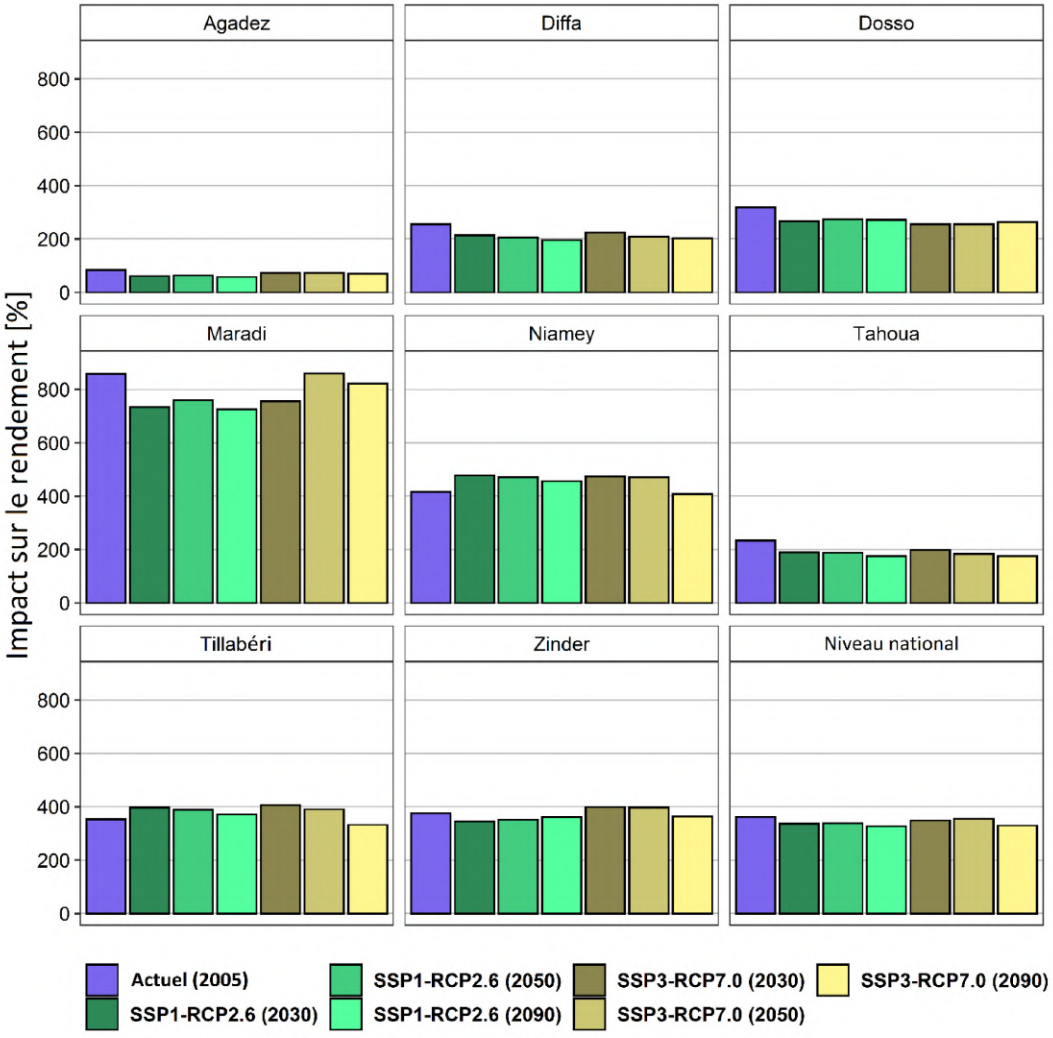


Figure 55 : Impacts de la gestion intégrée de la fertilité des sols sur les rendements par région selon les différents scénarios et périodes.

8.3 Analyse coûts-avantages de la GIFS pour l'alternance des cultures du millet et du niébé

Pour analyser la viabilité économique de la stratégie d'adaptation basée sur la GIFS, les coûts et avantages d'un système d'alternance des cultures du millet et du niébé ayant adopté la GIFS ont été comparés à un système d'alternance des cultures du millet et du niébé n'ayant pas adopté cette même stratégie. Pour cette analyse, la GIFS comprend des trous de tassa et des cordons pierreux installés sur les champs pour conserver l'eau et les sols. Nous comparons deux scénarios de changement climatique différents, chacun projeté jusqu'en 2050, en nous basant sur un scénario référentiel décrivant la situation actuelle.

8.3.1 Référentiel et scénarios

Le référentiel et les scénarios sont définis ainsi :

Référentiel (sans mesures, sans impacts climatiques) : Production pluviale du millet et du niébé suivant un système d'alternance des cultures, dans les conditions climatiques et technologiques actuelles dans la région.

Pas d'adaptation (pas de mesures, impacts du changement climatique en vertu des scénarios de réduction des émissions et d'émissions élevées) : Alternance de la culture pluviale du millet et du niébé sans recours à la GIFS. Les revenus du marché et les coûts de production du système sont extrapolés jusqu'en 2050 en présupposant des impacts du changement climatique sur les rendements en vertu d'un scénario de réduction des émissions et d'un scénario d'émissions élevées.

Adaptation (mesures, impacts du changement climatique en vertu des scénarios de réduction des émissions et d'émissions élevées) : Système alternant la culture pluviale du millet et du niébé avec recours à une méthode de la GIFS. Les revenus du marché et les coûts de production du système sont extrapolés jusqu'en 2050 en présupposant des impacts du changement climatique sur les rendements similaires à ceux du scénario "sans adaptation" en vertu des scénarios de réduction des émissions et d'émissions élevées.

8.3.2 Données de l'étude

Les données économiques utilisées pour calculer l'ACA ont été recueillies auprès de treize fermes à Keita, dans la région de Tahoua au sud du Niger. Dans leurs champs, les agriculteurs prenant part à l'étude ont mis en place des cordons pierreux pour contrôler le ruissellement et l'érosion. Des trous de tassa ont été creusés pour améliorer la collecte de l'eau de pluie, son infiltration dans le sol et pour assembler du compost et du fumier. En moyenne, chaque agriculteur cultive une surface de 12 ha, dont sept hectares sont réservés à la culture alternée du millet et du niébé avec l'utilisation de la GIFS. Cependant, tenant compte des paramètres économiques standards pour les exploitations agricoles et pour une meilleure comparaison de tous les scénarios, nous analysons les revenus moyens du marché et les coûts de production associés pour un hectare. Les agriculteurs ont fourni des informations détaillées sur les coûts d'installation des techniques, sur les rendements avant et après l'adaptation et sur les prix du marché dans la région. Afin de déterminer les variations des revenus du marché et des coûts de production dus à l'adaptation, les points suivants sont pris en compte pour les fermiers qui adoptent la stratégie.

- Une fois mis en place, les cordons pierreux doivent être entretenus seulement chaque année subséquente. Pour l'installation initiale, les agriculteurs ont besoin de moins d'une demi-journée de planification et de formation par an et par hectare. Pour le tracé des cordons, un jour la première année et seulement un quart de journée chaque année suivante sont nécessaires. Pour la collecte des galets et des pierres, ils accordent six jours la première année et seulement deux jours les années suivantes. Contrairement aux cordons pierreux, les trous de tassa doivent être refaits chaque année. Pour tout le processus de préparation de la terre et de la réalisation des trous, les agriculteurs ont besoin de cinq à six jours par an et par hectare. En utilisant le taux de rémunération journalier moyen des ouvriers agricoles obtenu à partir de l'étude, qui correspond à 2 188 francs

CFA (~ 4 USD[10]), nous obtenons des coûts de main-d'œuvre s'élevant à 27 321 francs CFA (~ 50 USD) pour la première année et à 19 834 francs CFA (~ 36 USD) chaque année suivante (WASCAL, 2020a).

- La nouvelle stratégie de fertilisation multiplie par deux le besoin de fumier et d'urée utilisés pour remplir les trous de tassa. Les coûts totaux pour les intrants s'élèvent à 33 040 francs CFA (~ 60 USD) par an et par hectare. Cependant, comme les cordons pierreux et les trous de tassa sont réalisés à partir de matériaux présents dans la nature (sable et cailloux ramassés dans les champs), nous ne tenons pas compte de coûts supplémentaires à cet égard (ibid.).
- Une petite excavatrice, une charrette, une bêche, un râteau, une pelle, une brouette et un marteau constituent l'équipement nécessaire aux constructions. Ces outils manuels sont renouvelés à certains intervalles mentionnés dans l'étude. En tout, ils ne représentent qu'une petite partie des coûts, car ils ne sont pas mécanisés et peuvent être acquis à des coûts relativement faibles.
- Cependant, la hausse des rendements produite par une meilleure gestion de la fertilité des sols et de l'eau entraîne une charge de travail plus importante pour les récoltes, le battage et la conservation des semences. Les coûts de main-d'œuvre liés à ces activités sont donc ajustés chaque année en se servant du ratio entre les rendements avec adaptation et les rendements référentiels avant l'adaptation (WASCAL, 2020a).
- Pour calculer les revenus, nous utilisons un prix du marché de 295 francs CFA (~ 0,60 USD) pour un kilogramme de millet et de 272 francs CFA (~ 0,50 USD) pour un kilogramme de niébé. Ces prix correspondent à la valeur moyenne des prix du marché indiqués dans l'étude sur les ménages ; ceux-ci sont ajustés pour tenir compte du niveau moyen du cours du marché des cinq dernières années dans la région (FEWS NET, 2020). D'après les agriculteurs interviewés, les rendements de millet ont augmenté de 525 kg par hectare durant la première année d'adaptation et de 24 kg supplémentaires durant la deuxième. Pour le niébé, le gain de rendement après l'adaptation est de 190 kg. À partir des revenus acquis par l'excédent, nous avons extrapolé les revenus de marché supplémentaires et les coûts de main-d'œuvre additionnels jusqu'en 2050 (ibid.).

8.3.3 Suppositions

Pour compléter les informations des données de l'étude, des suppositions complémentaires sur les effets des progrès technologiques, de l'inflation et du changement climatique ont dû être posées :

- Climate change induced yield developments on millet in the Tahoua region are derived from PIK projections using sorghum as proxy for millet under a SSP1-RCP2.6 and a SSP3-RCP7.0 scenario including a positive effect on yield developments with adaptation. The climate change effects on cowpea were calculated using PIK projections, which assumes a demographic and economic growth trajectory under SSP2 and a low emissions scenario under RCP4.5 and a high emissions scenario under RCP8.5. In the following CBA calculations, the yield development of millet under SSP1-RCP2.6 and the cowpea yield development under SSP2 and RCP4.5 are summarized under a "low emissions scenario", while the combination of millet under SSP3-RCP7.0 and cowpea under SSP2 and RCP8.5 are named "high emissions scenario".
- We assume that the farmers' area productivity increases due to autonomous technological change by 1.3% per annum for millet and by 7.9% for cowpea. These are extrapolations of millet and cowpea yield increases between 2000 and 2018 in the target region (WASCAL, 2020b).
- To depict the inflation rate, the exponential growth rate of the GDP per capita of Niger from the last 30 years was calculated with 2.35% (FAOSTAT, 2021b).

[10] Tous les taux de change ont été recueillis le 15.04.2021 sur : https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/how-eu-funding-works/information-contractors-and-beneficiaries/exchange-rate-inforeuro_en

8.3.4 Résultats

Les résultats de l'ACA montrent que la mise en œuvre de techniques de GIFS serait profitable aux agriculteurs en 2050, car elle présente un retour positif sur un investissement relativement limité (Figure 56). Cela s'applique aux deux scénarios de changement climatique. Toutefois, le scénario d'émissions élevées présente de bien meilleurs résultats en raison de l'inclusion des effets additionnels du changement climatique sur les rendements. En particulier, il convient de souligner les points suivants :

- Partant d'une valeur actuelle nette (VAN) négative de -104 319 francs CFA (~ -189 USD) en 2020, le flux de trésorerie net des agriculteurs et la VAN aussi deviennent positifs dès la deuxième année. Les coûts d'investissement initiaux comparativement faibles et les coûts de réinvestissement entraînent une hausse constante de la VAN dès le début, qui s'élève à 4 999 427 francs CFA (~ 9 065 USD) pour le scénario de réduction des émissions et à 5 656 315 francs CFA pour le scénario d'émissions élevées (~ 10 256 USD) en 2050. Cela signifie que le seuil de rentabilité entre les coûts nets accumulés et les bénéfices nets dans le cas des deux scénarios d'émissions est déjà atteint en 2021, la deuxième année de l'investissement.

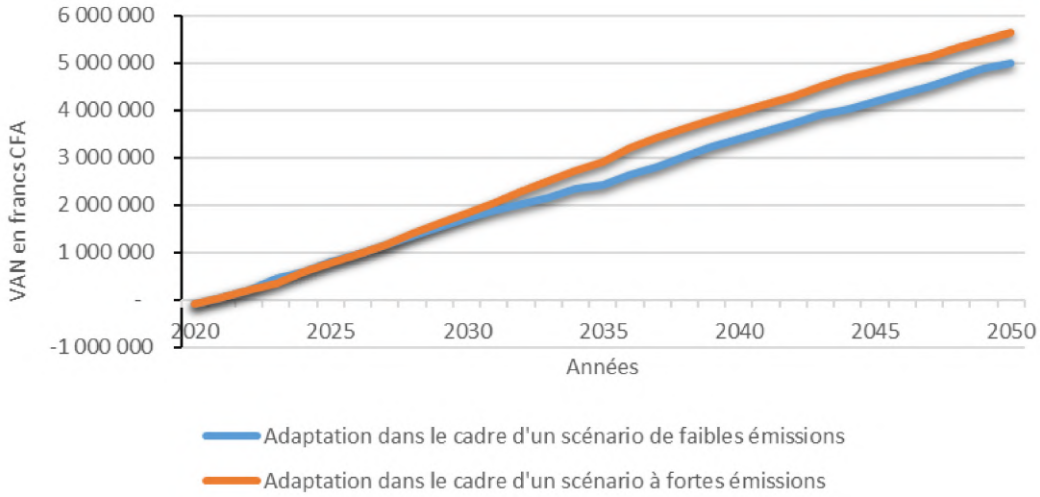


Figure 56 : Développement de la valeur actuelle nette dès la transition à la culture alternée du millet et du niébé associée à la GIFS.

Par conséquent, le taux de rendement interne (TRI) est très positif et représente près de 159% pour une adaptation en vertu du scénario de réduction des émissions et même 150% pour une adaptation en vertu du scénario d'émissions élevées. En supposant une perspective de rentabilité globale, souvent prise pour une ACA locale, tout TRI supérieur à 6,0% est considéré comme un investissement rentable. Le rapport avantages-coûts (A/C) de l'investissement pour l'adaptation le confirme par les résultats suivants : en 2050, il est de 4,79 en vertu du scénario de réduction des émissions et de 5,29 en vertu du scénario d'émissions élevées (Tableau 9). Les résultats très positifs de l'ACA peuvent s'expliquer par des coûts d'installation comparativement bas pour des hausses remarquables de rendements et des prix élevés du marché pour le millet et le niébé.

Tableau 9 : Récapitulatif des principaux indicateurs ACA pour la transition à l'alternance des cultures du millet et du niébé avec la GIFS.

	Adaptation en vertu du scénario de réduction des émissions	*Adaptation en vertu du scénario d'émissions élevées*
TRI	158,93%	150,12%
VAN	4 999 427 francs CFA (= 9 065 USD)	5 656 315 francs CFA (= 10 256 USD)
A/C	4,79	5,29

8.4 Évaluation qualitative de la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS)

8.4.1 Potentiel de développement

Les politiques nationales et les programmes de bailleurs de fonds ont accordé de plus en plus d'attention à la collecte de l'eau, une volonté basée sur la priorité donnée à l'autosuffisance alimentaire, en réaction notamment à la grave sécheresse de 1968-1973 (Di Prima et al., 2012). Face à la couverture plutôt limitée de l'irrigation, l'agriculture pluviale joue encore un rôle important au Niger. En 2017, selon la FAO, 33% seulement des terres irrigables du Niger étaient irriguées, ce qui représente 0,5% des terres cultivables totales du pays (FAO, 2017 ; FAOSTAT, 2017).

Si des données cohérentes manquent sur le taux d'adoption des technologies de la GIFS au Niger, des faits évoquant son succès sont bien documentés et montrent le fort potentiel de la GIFS pour restaurer des terres dégradées et augmenter leur capacité de rétention d'eau. Plusieurs projets de GIFS ont été mis en œuvre avec des résultats positifs ces dernières décennies, qui se sont même poursuivis au-delà de la durée des projets, notamment le projet de conservation des sols et de l'eau instauré par le Fonds international de développement agricole (FIDA) entre 1988 et 1995 dans le district d'Illéla au Niger. Di Prima et al. (2012) relatent que même 16 ans après la fin des activités du projet, les agriculteurs ont continué d'intégrer les technologies de collecte d'eau de pluie à leur système agricole, et la région a ainsi connu une transformation environnementale remarquable. Le potentiel important du micro-dosage, une forme de GIFS, a été mis en lumière par Sanginga et Woomer (2009). Les pénuries alimentaires de 2005 qui ont conduit à une terrible famine auraient pu être enrayées si seulement un quart des agriculteurs nigériens avaient recouru au micro-dosage des engrais.

8.4.2 Avantages conjoints potentiels

La GIFS s'accompagne de différents avantages conjoints au niveau social et environnemental qui permettent de soutenir de nombreux aspects du développement durable. Un projet de conservation des sols et de l'eau soutenant la mise en œuvre des tassa et des demi-lunes, instauré de 1988 à 1995 dans le district d'Illéla dans la région de Tahoua au Niger, fait état de divers avantages conjoints pour le développement durable, dont la hausse des achats de terres dégradées pour les raviver, l'amélioration de la sécurité alimentaire et davantage de revenus issus du travail (Hassane et Reij, 2020).

En outre, différentes études ont confirmé les résultats environnementaux positifs de la GIFS. Nill et al. (2014), par exemple, ont noté plusieurs impacts écologiques positifs observés dans la mise en place des cordons pierreux au Niger, comme une diminution du ruissellement de surface et de la perte en terre, une baisse de la vitesse du vent, une hausse de l'humidité du sol et de la diversité des végétaux.

Aussi, des études soulignent que la mise en œuvre de la GIFS peut aussi entraîner une hausse des revenus, issus du travail effectué ou de l'achat et de la vente de terres. L'intensité de la main-d'œuvre requise pour instaurer certaines de ces techniques de GIFS a permis de créer de nouveaux emplois dans les zones rurales, car les agriculteurs ont souvent besoin d'engager de la main-d'œuvre pour construire les tassa (Di Prima et al., 2012). Dans le cadre du projet de Tahoua, le succès lié à la réhabilitation des sols a conduit à une augmentation des achats de terrains très dégradés qui furent alors restaurés puis revendus à des prix plus élevés. Une étude sur les ménages réalisée dans le cadre du projet a révélé que 40% des chefs de famille interviewés avaient acheté des terres dégradées avec l'intention de les restaurer pour la production agricole (Hassane et Reij, 2020).

La GIFS a aussi démontré son impact positif sur la production alimentaire et ainsi, indirectement, sur la sécurité alimentaire. D'une part, cela est dû à l'augmentation des terres agricoles, sources de nourriture une fois les terres restaurées. D'autre part, les terres cultivées deviennent plus productives. Des essais de tassa sur le terrain, menés entre 1999 et 2000 à Sadoré, ont présenté une multiplication par 3 ou 4 (parfois même par 19) des rendements de céréales. L'ajout d'engrais biologiques tels que le fumier a même entraîné une multiplication des rendements par 68. En outre, l'efficacité de l'utilisation de l'eau pour le millet a été doublée (Fatondji et al., 2006).

8.4.3 Répercussions négatives potentielles

Les publications sur le sujet signalent très peu de répercussions inopportunes. Di Prima et al. (2012) soulignent le potentiel de conflits entre agriculteurs et éleveurs pastoraux lorsque les terres communales utilisées comme pâturages sont réhabilitées pour la production agricole. En même temps, Hassane et Reij (2020) mentionnent que, en tant qu'impact à long terme de la GIFS, les éleveurs pastoraux sédentaires du village de Batodi n'ont plus besoin de déplacer leurs troupeaux vers le Nigeria voisin, car ils disposent désormais d'assez de fourrage pour laisser le bétail à proximité du village toute l'année.

Les besoins élevés en main-d'œuvre liés à la mise en œuvre de la GIFS peuvent avoir des effets secondaires négatifs. Une étude au Tigré en Éthiopie a révélé que la GIFS n'entraînait pas de hausse des revenus ménagers, car le travail intense nécessaire à l'instauration de la GIFS absorbe une main-d'œuvre qui pourrait être productive dans un autre domaine (Hörner et Wollni, 2021).

En résumé, les quelques références aux répercussions inopportunes potentielles suggèrent que la GIFS reste une technologie prometteuse pour l'adaptation au changement climatique, qui permettrait de surmonter certains des défis posés par la production agricole au Niger.

8.4.4 Obstacles à la mise en œuvre

La mise en œuvre et le développement des techniques de GIFS pourraient être confrontés à certains obstacles tels que le fort besoin de main-d'œuvre, l'accès aux engrais, l'accès insuffisant au savoir et à la sensibilisation, et des politiques inadaptées (Sanginga et Woomer, 2009). Dans le cas des tassa par exemple, on estime que le nombre d'heures de travail exigé varie entre 300 et 600 heures environ par hectare de dur labeur consistant à creuser des trous (Roose et al., 1999), avec un supplément de 300 heures pour la production, le transport et la répartition du fumier dans les trous (Kabore-Sawadogo et al., 2013). Les trous doivent également être creusés à nouveau tous les trois ans. Toutefois, une étude menée dans la région de Tillabéri au Niger a montré que malgré les heures de travail requises pour mettre en œuvre la GIFS, la disponibilité de main-d'œuvre ne semble pas être un obstacle à l'adoption, car la réalisation des trous est effectuée à la saison sèche lorsqu'aucune autre activité dans les champs n'est nécessaire (Wildemeersch et al., 2013).

Un autre obstacle potentiel à la mise en œuvre de la GIFS fréquemment cité dans les ouvrages est la disponibilité d'intrants tels que le fumier nécessaire pour fertiliser les trous de plantation, l'équipement agricole et les moyens de transports (Fatondji et al., 2006 ; Wildemeersch et al., 2013), outre l'accès limité aux crédits pour obtenir les engrais et le manque d'informations destinées aux agriculteurs (Sanginga et Woomer, 2009). Aussi, le faible taux d'alphabétisation d'un certain nombre de petits exploitants peut être un obstacle majeur à la communication et à la diffusion d'informations sur la GIFS (Sanginga et Woomer, 2009).

Wildemeersch et al. (2013) trouvent que si la plupart des agriculteurs connaissent bien les techniques de la GIFS et leurs bienfaits directs comme l'amélioration des rendements, les avantages environnementaux à long terme de la mise en œuvre de la GIFS sont moins bien connus. La plupart des agriculteurs de l'étude connaissaient peu les causes et les effets de l'érosion et n'associaient donc pas les techniques de GIFS à ses avantages indirects.

8.4.5 Besoins en matière de soutien institutionnel

L'observation du Niger a montré que la promotion de la GIFS nécessite un soutien institutionnel complémentaire et un rapport aux marchés. Une expérience visant à évaluer l'adoption des technologies de GIFS dans 180 villages nigériens suggère que si la formation seule est un moyen rentable pour inciter les agriculteurs à recourir à ces technologies, les transferts monétaires initiaux sont quant à eux essentiels pour que les agriculteurs puissent surmonter les obstacles immédiats à l'accès aux crédits leur permettant de financer la main-d'œuvre requise (Aker, 2018). Une autre stratégie de soutien ayant fait ses preuves s'appelle le "warrantage", des coopératives agricoles qui aident les fermiers à s'organiser eux-mêmes pour faire face à la hausse des rendements liés à la mise en œuvre de la GIFS. Les revenus des agriculteurs au Niger accédant au système de *warrantage* ont augmenté entre 52% et 134% en raison de l'amélioration des prix des produits agricoles (Sanginga et Woomer, 2009).

Les perceptions des individus et l'accès à l'information jouent aussi un rôle important dans l'adoption de la GIFS. Une étude menée dans le district d'Illéla au Niger a révélé que des pourcentages élevés de terres agricoles dégradées, la formation par la vulgarisation, une plus faible aversion au risque et la possibilité de profits à court terme sont des aspects importants pour accroître l'adoption et l'intensité de la GIFS (Baidu-Forson, 1999). Wouterse (2017) suggère que la perception d'une aggravation des sécheresses peut mener à une adoption renforcée de la GIFS. Les ménages davantage éduqués, expérimentés et autonomes sont aussi plus à mêmes de mettre en œuvre la GIFS (Wouterse, 2017). Il est nécessaire de diffuser des savoirs qui démontrent non seulement les effets positifs immédiats de la GIFS, mais aussi ses avantages environnementaux et socio-économiques à long terme, (Wildemeersch et al., 2013), ainsi que la capacité de réduction des risques de ces technologies (Baidu-Forson, 1999). Des programmes d'autonomisation peuvent aussi être un moyen important pour promouvoir l'adoption des technologies de GIFS. Ils peuvent comprendre des formations au leadership ou encourager à l'adhésion à des groupes producteurs ou à des systèmes d'épargne par rotation (Wouterse, 2017).

Il est important de reconnaître que les technologies décrites en tant que GIFS sont, à l'origine, des pratiques traditionnelles de la région. Osbahr et Allan (2003), qui ont mené une étude dans le village de Fandou Béri pour comparer les connaissances locales et scientifiques sur les sols, indiquent que les agriculteurs s'appuient sur différents savoirs et expériences dans le domaine de l'écologie pour prendre des décisions complexes et dynamiques dans l'agriculture. Les capacités individuelles, la perception des obstacles et des possibilités, ainsi que l'aptitude à faciliter l'accès aux différents types de ressources influencent la gestion locale de la fertilité des sols. L'état de la fertilité des sols est d'ailleurs très variable d'un champ à l'autre, aussi dans une même communauté. C'est un aspect dont il faut particulièrement tenir compte lors de la mise en œuvre de la GIFS (Vanlauwe et al., 2010). Cela laisse sous-entendre qu'il faut tirer profit des avantages des savoirs traditionnels en intégrant les sciences sociales et naturelles (Osbahr et Allan, 2003).

Toutefois, il existe des obstacles à la mise en œuvre tels que l'insuffisance d'intrants, l'accès aux capitaux et aux marchés, la main-d'œuvre, et, dans une certaine mesure, l'accès au savoir, qui ne peuvent être surmontés qu'au niveau politique. Des politiques stratégiques sont donc nécessaires pour stimuler la réponse institutionnelle et commerciale envers la GIFS et les excédents agricoles qui en résultent (Sanginga et Woomer, 2009). Les politiques visant le renforcement de l'utilisation durable ainsi que la réhabilitation des sols dégradés, et les mécanismes nécessaires pour les mettre en œuvre et les évaluer, pourraient promouvoir l'adoption de la GIFS (Vanlauwe et al., 2010). Les politiques qui encouragent les programmes de crédits, de prêts ou de subventions soutenant la production d'intrants biologiques pourraient traiter le problème du manque d'accès aux équipements et aux intrants (Roobroeck et al., 2015).

8.5 Conclusion

La GIFS, surtout pour ce qui est des pratiques traditionnelles comme les tassa et les demi-lunes, est une stratégie d'adaptation encourageante. Dans un contexte comme celui du Niger, où une importante pression démographique s'exerce sur les ressources terriennes, le développement de la GIFS représente un fort potentiel pour les agriculteurs en leur offrant une méthode peu onéreuse pour utiliser l'eau de pluie plus efficacement et limiter ainsi les répercussions des impacts climatiques négatifs. En outre, cette stratégie contient divers avantages conjoints socio-économiques tels que l'amélioration de la production agricole et de la sécurité alimentaire, la restauration des terres dégradées et de la biodiversité.

Tableau 10 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de la GIFS en tant que stratégie d'adaptation.

Atténuation des risques	Gradient de risque	Rapport coût-efficacité	Développement	Avantages conjoints potentiels	Répercussions inadaptées potentielles	Obstacles à la mise en œuvre	Besoins en matière de soutien institutionnel
Forte	Indépendance vis-à-vis des risques	Élevé	Fort	Forts	Faibles	Moyens	Moyens à faibles



Chapitre 9 – L'irrigation pour l'agriculture de contre-saison

9.1 Contexte et description de la technologie

Au Niger, le secteur agricole dépend beaucoup de l'eau de pluie. Comme les précipitations deviennent de plus en plus irrégulières, l'irrigation permet d'aider les petits exploitants à s'adapter au changement des conditions. On peut définir l'irrigation comme un processus artificiel consistant à distribuer de l'eau sur les cultures ou les terres afin de soutenir la croissance des végétaux. La FAO distingue trois types d'irrigation : l'irrigation de surface, où l'eau se répand sur la terre ; l'irrigation par aspersion, où l'eau est projetée, sous pression, sur la terre ; et l'irrigation goutte à goutte, où l'eau est directement amenée à la plante (FAO, 2001). L'irrigation n'est cependant pas très répandue au Niger, comme le révèlent un potentiel d'irrigation très peu exploité (seules 33% des surfaces irrigables totales ont été irriguées en 2017) (FAO, 2017) et les études scientifiques sur l'irrigation : une recherche effectuée dans la base de données Scopus sur les publications à ce sujet n'a renvoyé que 25 résultats après saisie des termes "Niger" et "irrigation"[11].

Quatre types de systèmes d'irrigation sont considérés au Niger : (1) les systèmes d'irrigation financés par l'État avec contrôle total de l'eau, appelés "aménagements hydroagricoles" ou "AHA" (14 000 ha) ; (2) les systèmes d'irrigation hors saison avec contrôle de l'eau partiel, supervisés par les services agricoles des districts (18 000 ha) ; (3) les petits systèmes d'irrigation privés qui ne concernent généralement que quelques hectares, parfois même moins d'un hectare (68 000 ha) ; et (4) les types traditionnels de collecte du ruissellement comme les zaïs ou les demi-lunes (Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, 2015 ; Ministère du Développement Agricole, 2005).

Les systèmes d'irrigation gérés par l'État au Niger sont supervisés par l'Office National des Aménagements Hydro-Agricoles (ONAHA), qui assure une fonction de surveillance et de soutien aux associations d'irrigation locales. La majorité des systèmes d'irrigation gérés par l'État se situent le long des rives du fleuve Niger. Comparée aux autres pays voisins, comme le Burkina Faso, la taille des systèmes d'irrigation gérés par l'État au Niger est maintes fois supérieure. Tandis qu'au Burkina Faso les systèmes d'irrigation couvrent en moyenne 50 ha, la taille moyenne des systèmes d'irrigation au Niger est de 230 ha (Abernethy et Sally, 2002). Les systèmes d'irrigation gérés par l'État au Niger reposent sur des technologies modernes : il s'agit généralement de canaux revêtus de béton qui amènent l'eau aux parcelles à partir de stations de pompage motorisées (Abernethy et Sally, 2002). Aussi, avec 3 à 5 litres par seconde et par hectare, les capacités de distribution d'eau sont élevées (Abernethy et Sally, 2002). Ces facteurs, entre autres, entraînent des frais d'usage élevés pour l'eau, basés sur le calcul exact des coûts réels de la saison précédente par hectare cultivé (Abernethy et Sally, 2002). À la différence des systèmes d'irrigation de contre-saison et privés, à petite échelle, qui produisent principalement des cultures maraîchères, les systèmes d'irrigation gérés par l'État servent à la production du riz, cultivé sur deux cycles tout le long de l'année (Abernethy et Sally, 2002).

Les systèmes d'irrigation de contre-saison ont été développés par le gouvernement nigérien en raison des sécheresses à répétition du début des années 1980 et du déficit céréalier qui s'est ensuivi (Ehrnrooth et al., 2011). Ce type de système d'irrigation est centré sur les cultures irriguées de la saison sèche qui s'étend d'octobre à mai, une époque de l'année où l'insécurité alimentaire est particulièrement marquée. Une fois la saison des pluies passée, les parcelles sont généralement laissées au repos avant d'être cultivées quelques semaines plus

11 Cette recherche sur les publications à ce sujet a été menée en excluant les termes de recherche "Nigeria" et "office". "Office" en a été exclu en raison de l'existence d'une agence gouvernementale malienne appelée "Office du Niger". Office du Niger dirige un vaste programme d'irrigation dans la région de Ségou au Mali et apparaît dans de nombreux articles spécialisés.

tard pour accueillir alors des cultures hors saison, souvent des légumes comme les oignons, les tomates et les piments (Cochand, 2007). D'une taille inférieure à un hectare, les parcelles sont supervisées par des services de vulgarisation agricoles. L'eau provient de puits, de puisards, de bassins ou de forages. Si ce type d'irrigation recouvrait plus de 60 000 ha jusqu'à la fin des années 1990 et que la littérature scientifique continue de distinguer ce type d'irrigation, (Ehrnrooth et al., 2011) il faut noter qu'en réalité, une telle distinction n'est plus évidente, car de nombreuses parcelles irriguées hors saison ont été divisées et transférées à des fermiers individuels qui les exploitent désormais selon leurs préférences.

Les petits systèmes d'irrigation privés sont instaurés par les fermiers eux-mêmes et gérés soit individuellement soit en petits groupes (Ehrnrooth et al., 2011). La superficie des surfaces irriguées s'étend de moins d'un hectare à généralement moins de 15 ha (Cochand, 2007). Les technologies utilisées sont à bas coûts : dans la plupart des cas, l'irrigation est réalisée manuellement à l'aide de pompes manuelles, de shadoufs[12] ou de seaux d'eau (Cochand, 2007). Ce type d'irrigation requiert une main-d'œuvre intensive. De ce fait, les surfaces pouvant être irriguées de cette manière sont, de même que les possibilités de développer une production agricole commerciale, limitées. Cependant, de plus en plus de pompes motorisées sont utilisées, ce qui permet aux agriculteurs de cultiver de plus grandes surfaces et d'intensifier leur production agricole (Cochand, 2007). L'eau provient généralement de puits approvisionnés par des nappes phréatiques, ou bien de points d'eau peu profonds qui collectent le ruissellement de surface pendant la saison des pluies (Cochand, 2007). Comme les petits systèmes d'irrigation privés ne fonctionnent pas sous l'égide d'une initiative gouvernementale ou d'une ONG, des statistiques à leur sujet sont difficiles à obtenir (Cochand, 2007).

Les systèmes traditionnels de collecte des eaux de ruissellement comprennent les zaïs et les demi-lunes. En tant que technique agricole de contre-saison, les zaïs sont construits en creusant de petits trous ensuite remplis de matière organique, qui, associée à l'eau collectée, accroît la rétention de l'humidité du sol et les nutriments (Wouterse, 2017). Les demi-lunes sont des structures semi-ouvertes, sous forme de demi-cercles, creusées dans la terre. Elles aident à garder le ruissellement de surface en place, lui permettant de s'infiltrer dans le sol et d'améliorer la fertilité des terrains encroûtés. Toutefois, Wouterse (2017) remarque que, comparées aux zaïs qui peuvent être planifiés de manière plus autonome, les demi-lunes représentent une stratégie d'adaptation plus onéreuse promue par le gouvernement nigérien et les ONG.

Le développement des systèmes d'irrigation modernes au Niger remonte à la période coloniale. Au milieu des années 1930, les compagnies coloniales ont d'abord mis en place des systèmes d'irrigation afin de répondre aux besoins des colonies locales, en particulier en ce qui concerne le riz, et pour exporter des produits de haute qualité vers la France comme les oignons et d'autres légumes feuillus (Ehrnrooth et al., 2011). Cependant, l'expansion et l'accélération du développement des systèmes d'irrigation ne sont survenues qu'après l'indépendance, en particulier après les rudes sécheresses des années 1970 et 1980 qui ont entraîné des pénuries alimentaires dans toute la région du Sahel (Jaubert et al., 2010). À leur tour, ces périodes de sécheresse ont incité le gouvernement nigérien, des organisations d'agriculteurs et des donateurs internationaux comme l'Union européenne (à l'époque : Communauté économique européenne) ou des gouvernements étrangers, principalement la Chine (Ehrnrooth et al., 2011 ; Moussa et al., 2020) à renforcer davantage l'irrigation. Cependant, comme dans d'autres pays de la région, les investissements publics ont été réduits dans les années 1990 en raison des programmes d'ajustement structurel, déplaçant l'intérêt porté à l'agriculture de subsistance vers la production agricole commerciale, notamment celle des légumes et des fruits (Jaubert et al., 2010). Au cœur de ce processus se trouve l'adoption du document intitulé "Principes directeurs pour une politique de développement rural" en 1992, qui revendique le désengagement de l'État et la promotion du secteur privé (Ehrnrooth et al., 2011). Dans ce contexte, la Banque mondiale a montré un regain d'intérêt pour l'irrigation au Niger et lancé le projet de Promotion de l'Irrigation Privée (PIP), qui propose des subventions aux agriculteurs afin que ces derniers puissent couvrir leurs frais d'investissements initiaux (Jaubert et al., 2010). Lancé en 1998 et terminé en 2008, le projet PIP fut considéré comme une réussite par la Banque mondiale (2009), en particulier pour ses

[12] Un chadouf est un dispositif d'irrigation, composé d'une perche avec un seau et d'un contrepoids, qui permet de puiser de l'eau à partir d'un puits ou d'un plan d'eau.

contributions au niveau de la hausse des rendements et des terres irriguées, mais il a aussi été critiqué pour avoir exclu les petits exploitants à cause de divers obstacles. Cet aspect est plus amplement présenté au chapitre 9.4.4 (Jaubert et al., 2010).

Aujourd'hui, l'irrigation constitue un domaine prioritaire du développement agricole au Niger, ce qui se reflète dans plusieurs politiques et initiatives nationales entreprises par le gouvernement. En 2005, la Stratégie Nationale de Développement de l'Irrigation et de la Collecte des Eaux de Ruissellement déploie une stratégie détaillée pour augmenter la part de l'agriculture irriguée dans le PIB agricole (MDA, 2005). Le cadre proposé vise à attirer les investisseurs du secteur privé et, ainsi, à améliorer la productivité des équipements d'irrigation et la diversification de la production agricole. La Stratégie de la Petite Irrigation au Niger en 2015 se concentre sur le développement de l'irrigation à petite échelle afin de renforcer la sécurité alimentaire et nutritionnelle (Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, 2015). Aussi, plusieurs autres documents, comme la Stratégie de développement rural (République du Niger, 2003), la Stratégie de développement accéléré et de réduction de la pauvreté (République du Niger, 2007), l'Initiative 3N (République du Niger, 2015) et la Politique agricole (Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, 2016), reconnaissent le potentiel de l'irrigation comme un moyen d'améliorer la sécurité alimentaire, de réduire la pauvreté et de contribuer à la croissance économique dans son ensemble.

9.2 Évaluation biophysique du potentiel d'atténuation des risques

Comme nous l'avons précisé au chapitre 1, le changement climatique entraîne la hausse des températures et des taux d'évapotranspiration, ainsi que des quantités de précipitations de plus en plus incertaines. Aussi, le nombre de vagues de sécheresse, même durant la saison des pluies, ainsi que le début et la durée de cette dernière deviendront de plus en plus aléatoires. Ces changements climatiques et ces variabilités se traduisent en incertitudes concernant la disponibilité en eau et la production agricole. L'irrigation permettrait de compenser ces incertitudes et de réduire considérablement les risques climatiques, constituant ainsi une stratégie d'adaptation prometteuse. Durant la saison des pluies, l'irrigation peut atténuer les impacts des vagues de sécheresse et, à la saison sèche, elle peut compenser les manques agricoles de la saison des pluies grâce, par exemple, à la culture de légumes. De cette façon, l'irrigation permet de stabiliser la production agricole et la sécurité alimentaire tout le long de l'année.

Différentes études ont été menées pour évaluer l'impact de l'irrigation sur les rendements agricoles. Comme les publications sur l'irrigation au Niger sont rares, nous nous sommes appuyés sur des études réalisées dans les pays voisins qui présentent des modèles socio-économiques et biophysiques similaires. Par exemple, une étude de Zongo et al. (2015) a évalué les répercussions de l'irrigation complémentaire en provenance de petits réservoirs artificiels sur la production céréalière au Burkina Faso. Les résultats montrent que les petits exploitants sont parvenus à augmenter leurs rendements de maïs de 68% (2,5 t/ha sur les parcelles expérimentales et 1,7 t/ha sur les parcelles témoins) et même à cultiver une deuxième culture grâce à l'excédent d'eau du réservoir. Une autre étude de Zongo et al. (2019) a modélisé l'impact économique de l'irrigation complémentaire au Burkina Faso, montrant que durant une année sèche, l'irrigation complémentaire du maïs, du sorgho et du millet augmenterait les revenus de près de 27% par rapport à la situation sans irrigation. Opata et al. (2019) ont comparé les rizicultures irriguées et pluviales au Nigeria et trouvé que le revenu agricole net moyen des rizicultures irriguées représentait plus du double de celui des rizicultures pluviales. Fox et al. (2005) confirment ces observations pour le Burkina Faso et le Kenya, mais précisent que l'irrigation complémentaire est économiquement viable seulement lorsqu'elle est associée à la production de cultures de rente pendant la saison sèche.

Pour analyser le potentiel d'atténuation des risques de l'irrigation comme stratégie d'adaptation, nous avons choisi le sorgho pour notre étude de cas et sélectionné l'option "irrigation automatique lorsque c'est nécessaire" du modèle DSSAT. Dans cette option, nous avons réglé la profondeur d'irrigation par submersion à 5 cm.

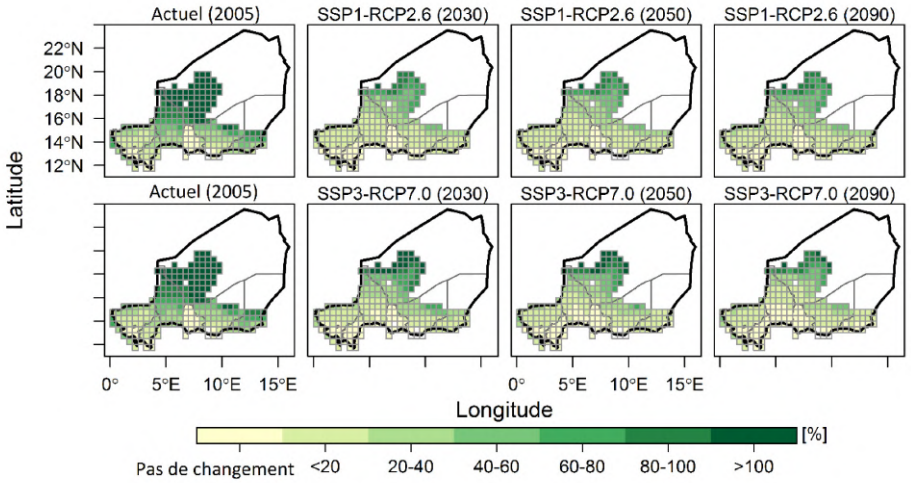


Figure 57 : Répartition spatiale de l'analyse des impacts avec l'irrigation automatique.

Dans l'ensemble, l'irrigation a entraîné une hausse considérable des rendements sur la majorité des cellules, jusqu'à 100%, en particulier sur le nord du Niger, dans le cadre des deux scénarios d'émissions. Si l'on compare les deux scénarios d'émissions, le scénario d'émissions élevées a produit des rendements supérieurs au scénario de réduction des émissions à toutes les périodes, surtout dans la partie nord du Niger (Figure 57). Dans les deux scénarios d'émissions de GES, la partie sud du Niger reste inchangée, mais la région du nord a connu des impacts positifs plus élevés dans le cadre du scénario d'émissions élevées que dans celui de réduction des émissions. Le manque de répercussions dans les régions du sud s'explique par le fait que les projections des tendances pour les précipitations pourraient satisfaire aux besoins en eau du sorgho, et de ce fait, le recours à l'irrigation n'a pas été déclenché. Toutefois, dans l'ensemble, les deux scénarios ont révélé des impacts positifs importants sur les rendements avec l'application de l'irrigation.

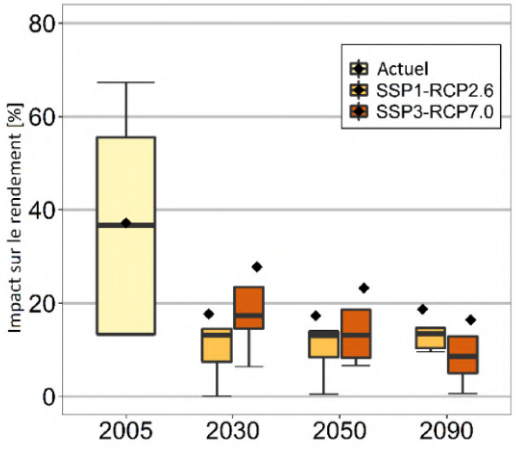


Figure 58 : Intercomparaison des impacts sur les rendements à différentes périodes avec l'irrigation automatique.

La figure 58 montre la variabilité des impacts sur les rendements à différentes périodes avec l'application de l'irrigation. Si l'on compare les deux scénarios, le scénario de réduction des émissions présente un maintien des impacts réguliers sur les rendements au fil du temps, alors que le scénario d'émissions élevées indique une tendance à la baisse sur la durée, mais avec des impacts

sur les rendements plus élevés que SSP1-RCP2.6. L'irrigation a des impacts très importants sur les rendements dans les conditions actuelles, avec une hausse des rendements de plus d'un tiers, mais cet avantage ne se reflète pas directement dans les conditions climatiques projetées, car les impacts sur les rendements seront plus faibles. Dans les deux scénarios, une partie de ces rendements identiques peut s'expliquer par les processus d'évaporation improductive à partir du sol nu, les pertes d'interception, la percolation profonde et le ruissellement de surface en raison d'une combinaison de précipitations plus élevées dans le scénario SSP3-RCP7.0 que celles projetées en vertu de SSP1-RCP2.6 et de l'irrigation au sud du Niger (Rockström, 2000).

La figure 59 montre les impacts de l'irrigation automatique sur les rendements par région pour les deux scénarios d'émissions et les différentes périodes. Dans toutes les régions, pour l'avenir, des impacts sur les rendements sont attendus, évalués à entre 10 et 60%. Si l'on compare toutes les périodes, les régions nord du Niger ont des rendements de sorgho plus élevés avec l'irrigation que les régions du sud dans le cas des deux scénarios. Comparés aux scénarios d'avenir, les rendements actuels sont plus élevés avec l'irrigation dans toutes les régions, ce qui indique que le changement climatique (le réchauffement en particulier) réduira le potentiel de l'irrigation à offrir des rendements plus importants en raison d'une trop forte évapotranspiration.

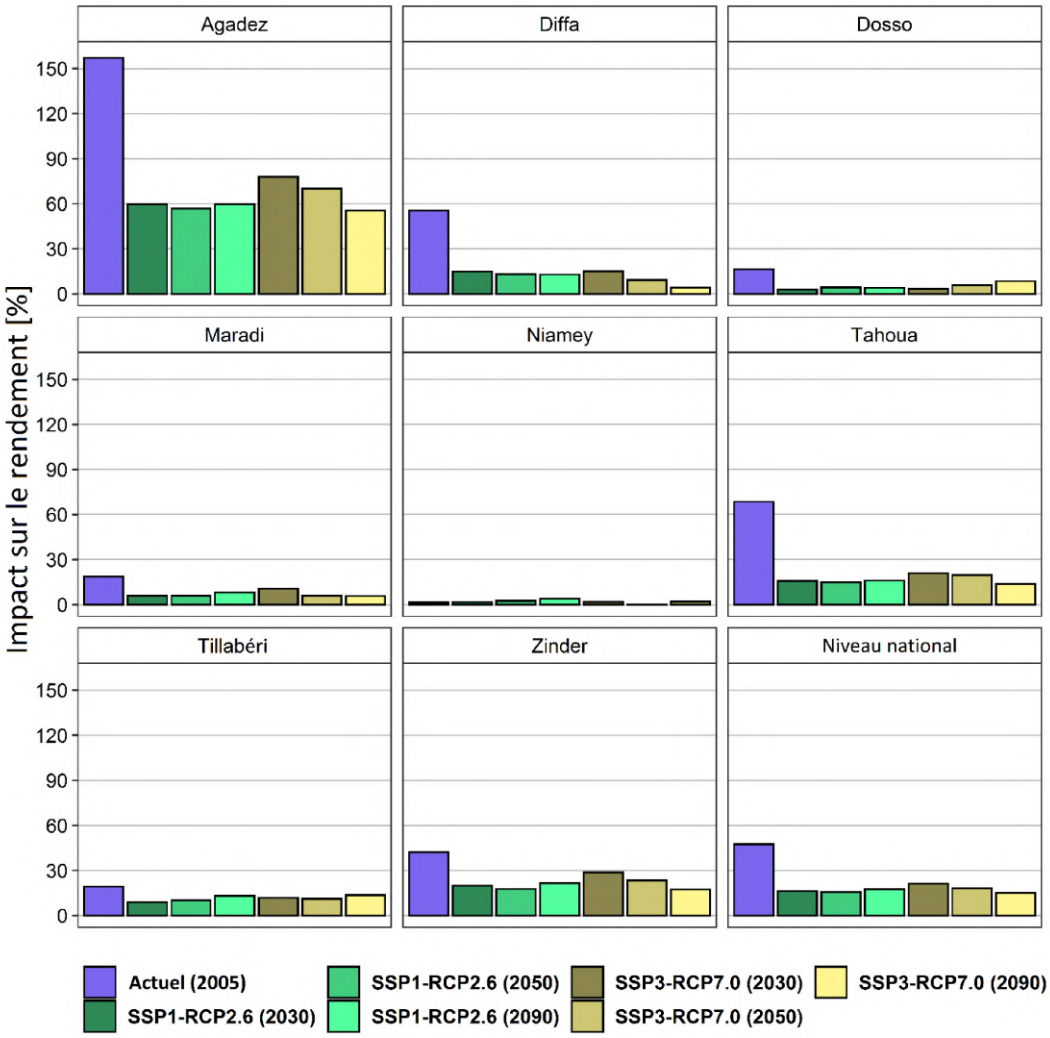


Figure 59 : Impacts de l'irrigation automatique sur les rendements par région selon les différents scénarios et les différentes périodes.

9.3 Analyse coûts-avantages de la production agricole et légumière irriguée en contre-saison

L'agriculture irriguée de contre-saison permet aux agriculteurs de générer un revenu issu de l'agriculture durant la saison sèche de l'année, lorsqu'il est normalement impossible de cultiver et que de nombreux fermiers se tournent vers d'autres sources de revenus. Pour évaluer si l'agriculture de contre-saison est économiquement viable, les coûts et les avantages de ce système cultural ont été comparés au scénario où les agriculteurs génèrent leurs revenus à partir de travaux non-agricoles. Pour le scénario d'adaptation, nous analysons deux scénarios de changement climatique différents, chacun projeté jusqu'en 2050, en se basant sur un scénario référentiel décrivant la situation actuelle.

9.3.1 Référentiel et scénarios

Le référentiel et les scénarios sont définis ainsi :

Référentiel (sans mesures, sans impacts climatiques) : Pas de production agricole durant la saison sèche. Pour compenser, les fermiers réalisent des travaux non agricoles dans la région sous les conditions climatiques et technologiques actuelles.

Pas d'adaptation (pas de mesures prises) : Pas de production agricole durant la saison sèche. Pour compenser, les fermiers réalisent des travaux non agricoles. Les revenus du marché et les coûts de production du système sont extrapolés jusqu'en 2050.

Adaptation (mesures, impacts du changement climatique en vertu de RCP4.5 et de RCP8.5) : Agriculture irriguée de contre-saison. Les revenus du marché et les coûts de production du système sont extrapolés jusqu'en 2050 en présupposant des impacts du changement climatique sur les rendements en vertu de RCP4.5 et de RCP8.5.

9.3.2 Données de l'étude

Les données sur lesquelles s'appuient les calculs proviennent de dix exploitations à Maradi, une région située au sud du Niger. Les agriculteurs analysés ici cultivent sur leurs parcelles irriguées d'une superficie moyenne de 0,3 ha différents légumes comme les poivriers, les aubergines, les oignons, les tomates, l'anis, les concombres, et des cultures de base comme le maïs, le blé et le manioc. Tandis que les légumes sont vendus au marché, les céréales sont généralement destinées à la consommation personnelle. La plupart des agriculteurs font ainsi depuis plus de 20 ans. Outre l'agriculture de saison sèche ou contre-saison, ils recourent à l'agriculture pluviale durant la saison des pluies, ce qui n'est pas l'objet de cette analyse, mais influence les coûts de l'ACA. Pour suivre les paramètres économiques standards des exploitations agricoles et pour une meilleure comparaison de tous les scénarios, nous analysons les revenus moyens du marché et les coûts de production consécutifs pour un hectare. Il a été demandé aux agriculteurs de fournir des informations détaillées sur les coûts de la culture des plants, sur l'irrigation, les rendements et les prix du marché. Afin de déterminer les variations des revenus du marché et des coûts de production dus à l'adaptation, les points suivants sont pris en compte pour les fermiers pratiquant l'agriculture de saison sèche.

- Au niveau des coûts, les agriculteurs doivent assumer les frais des parcelles agricoles irriguées, qui s'élèvent à 95 072 francs CFA (~ 175 USD[13]) par hectare et par an.
- En outre, la production requiert un certain équipement, constitué notamment d'une charrette, d'un semoir, d'une daba[14], d'un pulvérisateur, d'un râteau, d'une hache, d'une pioche ou d'une houe, outils nouvellement acquis durant la première année et renouvelés à certains intervalles, suivant la durée de vie relevée dans l'étude. Supposant que les agriculteurs utilisent le même équipement pour cultiver aussi durant la saison des pluies, les coûts des outils sont divisés par deux.
- La production légumière requiert beaucoup de main-d'œuvre et de l'eau, en particulier. En ce sens, 180 jours par hectare et par an sont nécessaires uniquement pour assurer l'irrigation. 28 jours sont nécessaires pour le

[13] Tous les taux de change ont été recueillis le 22.04.2021 sur : https ://ec.europa.eu/info/funding-tenders/how-eu-funding-works/information-contractors-and-beneficiaries/exchange-rate-inforeuro_en

[14] Une daba est un outil utilisé par les fermiers dans certaines parties d'Afrique de l'Ouest.

désherbage, 36 jours pour le travail de la terre. Quelques-uns des agriculteurs ont engagé des ouvriers externes, mais la plupart des travaux sont effectués par des membres de la famille. En utilisant le taux de rémunération journalier moyen des ouvriers agricoles extérieurs à l'exploitation obtenu à partir de l'étude, qui correspond à 958 francs CFA (~ 1,76 USD), nous obtenons des coûts de main-d'œuvre s'élevant à 268 056 CFA (~ 491 USD) par hectare et par an (WASCAL, 2020a).

- Les dépenses pour les intrants représentent l'un des principaux facteurs de coûts de la production légumière. En somme, les coûts pour les graines, les engrais naturels et NPK s'élèvent à 572 256 francs CFA (~ 1 052 USD) (ibid.).
- Les coûts d'opportunité, en d'autres termes, les revenus perdus issus d'autres sources, sont appliqués avec l'aide d'un groupe témoin qui ne recourait pas à l'agriculture de saison sèche. Il a été demandé à un échantillon de dix agriculteurs du même village de fournir des informations sur leurs revenus issus de travaux réalisés dans le commerce, la maçonnerie ou d'autres labeurs effectués dans d'autres exploitations durant la saison sèche. Les revenus ainsi déterminés, s'élevant à 488 632 francs CFA (~ 898 USD) par hectare et par an, ont été établis comme les coûts d'opportunité pour les agriculteurs soumis à l'étude (WASCAL, 2020b).
- Les prix du marché des céréales et des légumes indiqués dans l'étude des ménages ont été utilisés. Les prix ont été pondérés en fonction des rendements obtenus et de la surface cultivée pour chaque culture. Le prix déterminé a été utilisé pour calculer les revenus moyens des agriculteurs soumis à l'étude, pour un hectare. À partir de ces revenus, nous avons extrapolé les revenus de marché supplémen-taires et les coûts de main-d'œuvre additionnels jusqu'en 2050 (WASCAL, 2020a).

9.3.3 Suppositions

Pour compléter les informations des données de l'étude, des suppositions complémentaires sur les effets des progrès technologiques, de l'inflation et du changement climatique ont dû être posées :

- Les effets du changement climatique proviennent des projections du PIK qui suppose une trajectoire démographique et économique croissante en vertu de SSP2[15], d'un scénario de réduction des émissions selon RCP4.5 et d'un scénario d'émissions élevées selon RCP8.5. Les rendements de tous les légumes et des cultures autres que les cultures de base, dont l'anis et le moringa, sont englobés dans le terme "légumes", ce qui signifie qu'en raison de l'absence de données, les impacts du changement climatique sur les légumes ont aussi été appliqués au moringa et à l'anis. Pour le manioc, le blé et le maïs, le modèle IMPACT fournit des données culturales spécifiques sur le développement des rendements en vertu de RCP4.5 et de RCP8.5.
- Pour représenter le taux d'inflation, nous avons calculé le taux de croissance exponentiel du PIB par habitant au Niger ces 30 dernières années, sa valeur est de 2,35% (FAOSTAT, 2021).

9.3.4 Résultats

Les résultats de l'ACA montrent qu'en comparaison au scénario dépourvu d'adaptation, le passage à une production agricole de contre-saison (scénario d'adaptation) devient rentable à partir de l'année 2044 en vertu du scénario de réduction des émissions, et à partir de 2047 en vertu du scénario d'émissions élevées. À partir de ce moment-là, la stratégie d'adaptation a un retour positif sur l'investissement. La figure suivante montre l'évolution de la valeur actuelle nette (VAN) de 2020 à 2050.

- Au cours des dix premières années, le flux de trésorerie net est négatif en vertu du scénario de changement climatique RCP4.5, c'est-à-dire que la VAN liée à l'adoption du changement diminue. Cela change après 2030, lorsque la VAN passe à -3 935 CFA (~ -7,2 USD). À partir de là, le flux de trésorerie net est positif. Alors, la VAN se met à augmenter. Enfin, la VAN devient positive en 2044 et en 2047, puis continue d'augmenter jusqu'en 2050. En 2050,

[15] Comprenant une augmentation de la productivité des agriculteurs en raison du changement technologique autonome.

les VAN correspondantes s'élèvent à 1 478 894 CFA (~ 2 710 USD) en vertu de RCP4.5 et à 549 717 CFA (~ 1 007 USD) en vertu de RCP8.5.

- Le taux de rendement interne (TRI) correspondant pour un scénario d'adaptation en vertu de RCP4.5 s'élève à 6,05% et, en vertu de RCP 8.5, à 3,88% en 2050. Pour indiquer un investissement rentable, le TRI doit être supérieur au taux d'intérêt local. D'après l'étude, celui-ci est de 5% sur le site de notre étude de cas (WASCAL, 2020a).[16]
- Cela signifie que dans le cadre d'une production en vertu de RCP4.5, l'investissement consistant à passer d'un revenu non agricole à une production légumière et céréalière irriguée est rentable à long terme du point de vue d'un fermier parce que le TRI est supérieur au taux d'intérêt local. Toutefois, en vertu de RCP8.5, ce n'est plus le cas, car le TRI est inférieur à 5%.
- Cela s'exprime aussi au travers du rapport A/C : pour un scénario en vertu de RCP4.5, le rapport avantages-coûts est de 1,05 au bout de 30 ans (en 2050). Pour un scénario en vertu de RCP8.5, le rapport avantages-coûts est de 1,02 (voir aussi le tableau 11). En d'autres termes, l'investissement du fermier dans le passage à l'autre source de revenus devient rentable au bout de 24 et 27 ans seulement, lorsque les seuils de rentabilité entre les coûts nets accumulés et les bénéfices nets sont atteints.

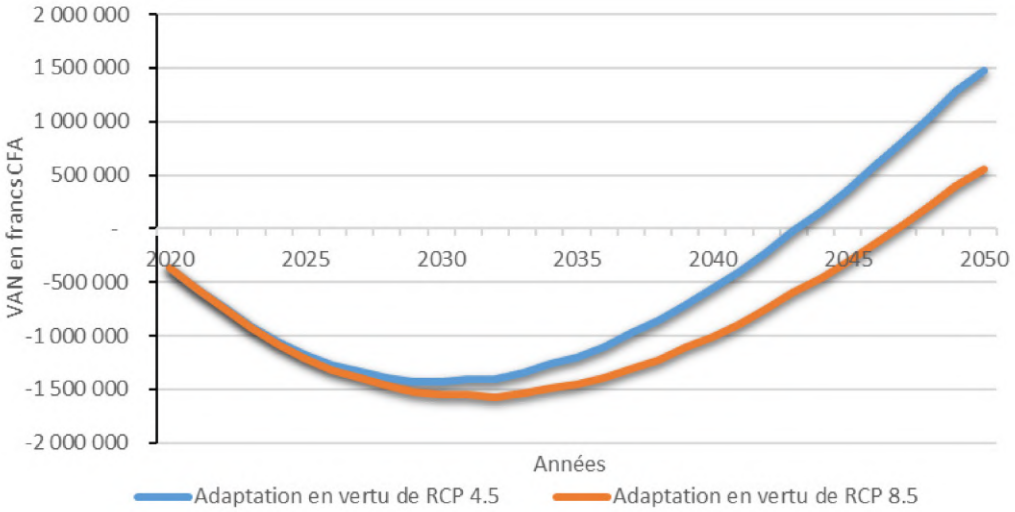


Figure 60 : Évolution de la valeur actuelle nette (VAN) lors du passage d'un revenu non agricole à une production légumière et céréalière irriguée durant la saison sèche dans le cadre des changements climatiques à venir et au fil du temps.

Le seuil de rentabilité tardif suggère que le passage à l'agriculture de saison sèche peut être recommandé à l'avenir, mais plutôt à moyen ou à long terme. Une des raisons principales est que les travaux externes à la ferme sont, dans la plupart des cas, mieux payés que les travaux à la ferme, ce qui suggère une prise en compte prudente de tous les facteurs avant de donner des recommandations concernant de nouvelles cultures afin d'éviter toutes répercussions inopportunes.

Tableau 11 : Récapitulatif des principaux indicateurs ACA pour le passage à l'agriculture irriguée de contre-saison.

	Adaptation en vertu du scénario de réduction des émissions	*Adaptation en vertu du scénario d'émissions émissions élevées*
TRI	6,05%	3,88%
VAN	1 478 894 francs CFA (~ 2 710 USD)	549 717 francs CFA (~ 1 007 USD)
A/C	1,05	1,02

[16] En supposant une perspective de rentabilité globale, souvent prise pour des ACA locales, tout TRI supérieur à 6% est considéré comme un investissement rentable.

La transition à une production légumière et céréalière irriguée de saison sèche est pertinente au niveau économique parce que le changement partiel de système de production entraîne un TRI élevé et un rapport A/C supérieur à 1,0. Cela signifie que les revenus supplémentaires attribuables au changement sont plus élevés que les coûts supplémentaires associés. Ce résultat particulier ne signifie toutefois pas que le système de production dans son ensemble soit rentable pour ce qui est du calcul des marges économiques normalisé au plan international. Les données de l'étude des ménages montrent que la production légumière et céréalière irriguée du scénario référentiel (sans mesures, sans impacts climatiques), c'est-à-dire la production de saison sèche dans les conditions climatiques et technologiques actuelles dans la région, présente une marge brute et nette négative. En d'autres mots, les coûts variables et fixes sont plus élevés que les revenus du marché. Les coûts principaux proviennent des intrants et de la main-d'œuvre. Aussi, les coûts d'opportunité sont élevés parce que le travail externe à la ferme est bien payé et génère de ce fait des revenus importants.

D'un point de vue purement économique, l'agriculture de saison sèche n'est donc pas recommandable, même si le TRI positif laisse prévoir un système de production plus rentable à l'avenir. Mais la prise de décision des fermiers de la région peut également être guidée par la sécurité des revenus et le manque d'emplois externes aux travaux agricoles. Il faut également tenir compte du fait que la monétisation du travail à la ferme (accompli en général par les membres de la famille) ne reflète pas la réalité des petites exploitations et des agriculteurs de subsistance qui, habituellement, ne se versent pas de salaire.

9.4 Évaluation multicritère

9.4.1 Potentiel de développement

D'après la FAO, on estime que le Niger avait un potentiel de 270 000 ha de terres irrigables en 2017 (FAO, 2017). La même année, 33% seulement de ce potentiel était irrigué (données agrégées), ce qui correspondait à 0,5% du total des terres agricoles du pays en 2017 (FAO, 2017 ; FAOSTAT, 2017). La majeure partie du Niger est un désert aride. Néanmoins, il existe différents types de ressources en eau grâce auxquelles le potentiel d'irrigation pourrait être davantage exploité. En ce qui concerne les eaux de surface, la ressource la plus importante est le fleuve Niger, qui traverse la capitale Niamey et la partie sud-ouest du pays sur près de 550 km. C'est un fleuve pérenne qui atteint généralement son plus haut niveau au début de la saison sèche, c'est-à-dire en décembre et en janvier, moment où le pompage est le plus facile et la demande la plus forte (Abernethy et Sally, 2002). Avant d'atteindre le Niger, le fleuve traverse la Guinée et le Mali. Le Mali, en particulier, a développé l'irrigation plus rapidement que le Niger, ce qui accroît la vulnérabilité du Niger par rapport au manque d'eau potentiel (Abernethy et Sally, 2002). Dans le reste du pays, les habitants dépendent de ressources en eau plus petites assurées par le millier de réservoirs ou de bassins présents dans le pays qui retiennent les eaux de surface avec une capacité totale d'environ 100 millions de m^3 (Cochand, 2007). Certains de ces bassins se trouvent dans des dépressions peu profondes qui retiennent l'eau même après la fin de la saison des pluies et, en fonction de leur profondeur, de leur largeur et du type de sol, parfois même toute l'année (Cochand, 2007). De ce fait, ces bassins représentent une source d'eau importante pour les agriculteurs et les éleveurs pastoraux. Toutefois, le climat du Niger est une contrainte pour l'irrigation, car il se caractérise par des températures très chaudes, une pluviométrie limitée et de forts taux d'évapotranspiration (Lange, 2016). D'après Abernethy et Sally (2002), les précipitations dépassent l'évapotranspiration seulement deux mois dans l'année en moyenne. Il n'y a qu'une seule saison des pluies (régime de précipitation unimodal) au Niger, qui reçoit presque la totalité de ses précipitations annuelles entre juin et septembre. La durée de la saison des pluies diminue en direction du nord, les quantités de précipitations annuelles atteignant seulement 10 mm dans les régions désertiques au nord. La qualité des sols est un autre facteur de limitation : dans de nombreuses régions du Niger, les sols sont pauvres en nutriments et sableux, ce qui les rend vulnérables à la sécheresse, à l'érosion et aux crues en raison de leur faible capacité de retenue d'eau (Touré et al., 2019 ; Wildemeersch et al., 2015).

9.4.2 Développement d'avantages conjoints

Si elle est déployée de manière planifiée et équitable, l'irrigation présente plusieurs avantages conjoints liée à son développement. Elle permet de produire des cultures non traditionnelles, à forte valeur ajoutée, telles que les légumes, qui peuvent être vendus au marché. Une production orientée sur la vente dans les marchés permet d'accroître les revenus des agriculteurs et de réduire la pauvreté (Cochand, 2007 ; Jaubert et al., 2010 ; Mounir et al., 2013). Au Niger, l'accès à l'irrigation permettrait aux agriculteurs de cultiver des légumes et des fruits pour leur propre consommation et pour la vente sur les marchés locaux durant la saison sèche. De ce fait, l'irrigation permet de diversifier les régimes alimentaires et de sécuriser l'approvisionnement en nourriture lorsque la famine est la plus courante, contribuant ainsi à préserver la santé. Aussi, l'irrigation peut donner naissance à de nouveaux emplois : selon la taille et le degré de mécanisation d'une installation d'irrigation, une main-d'œuvre est nécessaire à sa construction, à son fonctionnement et à sa maintenance. De ce fait, les infrastructures d'irrigation peuvent engendrer des opportunités de travail aux ménages non agricoles ainsi qu'aux ménages agricoles durant la saison sèche. Des infrastructures d'irrigation commerciales plus vastes, telles que celles irriguant les oignons à l'exportation[17], peuvent contribuer à la croissance et à la stabilité économique (Jaubert et al., 2010). Par exemple, la région autour de Gaya au sud du Niger est devenue un important carrefour commercial approvisionné par des producteurs, des coopératives et des négociants du Niger, du Bénin et du Nigeria voisins (Cochand, 2007 ; Dambo, 2007). De cette façon, l'irrigation peut également limiter l'exode rural, pratique courante au Niger, où les jeunes gens notamment émigrent vers les villes ou les pays voisins comme le Bénin, le Nigeria ou la Côte d'Ivoire (IDMC, 2019 ; UNDESA, 2019). Cela survient particulièrement à la saison sèche, lorsque les stocks alimentaires s'amenuisent. Mais l'irrigation n'a pas que des avantages socio-économiques. Les installations d'irrigation peuvent également faire office d'infrastructures protectrices permettant de contrôler les crues saisonnières : au nord de la ville de Kaya au centre du Burkina Faso, Boelee et al. (2009) ont constaté qu'un ensemble de douze réservoirs avait réduit le débit de crue de 38 m^3/s à 23 m^3/s.

9.4.3 Répercussions inopportunes potentielles

L'adoption de l'irrigation peut aussi entraîner des effets négatifs et des répercussions inopportunes. Notamment, les systèmes d'irrigation plus vastes s'accompagnent de frais de fonctionnement et d'entretien élevés (Abernethy et Sally, 2002 ; Jaubert et al., 2010). Ces frais sont souvent couverts par une redevance sur l'eau ou par une participation sous forme de main-d'œuvre pour des activités de mise en fonctionnement ou de maintenance. Cependant, tous les agriculteurs ne sont pas en mesure voire disposés à contribuer financièrement ou d'une autre manière au fonctionnement des systèmes d'irrigation. De ce fait, des conflits peuvent surgir entre ceux qui paient pour les captages de l'eau et ceux qui ne les paient pas (De Fraiture et al., 2014 ; Evans et al., 2012). Les captages d'eau et un déploiement de l'irrigation incontrôlés peuvent également nuire aux moyens de subsistance comme la pêche ou l'élevage pastoral (Dambo, 2007). Par exemple, une production agricole à proximité de plans d'eau peut en limiter l'accès au bétail, notamment par la mise en place de clôtures, ce qui est de plus en plus courant. À l'inverse, le bétail errant peut devenir une menace pour les infrastructures d'irrigation, en risquant d'endommager les tuyaux et les canaux (Dambo, 2007). L'irrigation peut aussi avoir des répercussions négatives sur l'environnement, notamment en aggravant la dégradation des sols par la salinité et conduire à une utilisation inefficace ou à une surexploitation des ressources en eau, en particulier si les équipements d'irrigation sont anciens et les systèmes de drainage médiocres (Moussa et al., 2020). L'expansion de l'irrigation risque aussi d'augmenter les besoins en énergie et d'entraîner des émissions de GES issues de l'agriculture plus élevées (Zou et al., 2013), ce qui contrecarrerait les efforts d'atténuation du changement climatique. Enfin, l'irrigation peut avoir un impact négatif sur la santé humaine : la construction de réservoirs d'eau peut créer de nouveaux écosystèmes aquatiques dans des zones auparavant semi-arides ou arides et favoriser le développement de maladies liées à l'eau comme le choléra, la schistosomiase ou le paludisme, qui est, par exemple, la principale cause de mortalité infantile dans la région sud de Gaya (Dambo, 2007).

[17] Le Niger est le plus grand exportateur d'oignons en Afrique de l'Ouest (Jaubert et al., 2010).

9.4.4 Obstacles à la mise en œuvre

Le développement de l'irrigation est confronté à de multiples obstacles et contraintes. En fonction du type et de la taille du système d'irrigation, un soutien institutionnel, technique et financier élevé peut s'avérer nécessaire. Tandis que la petite irrigation sur quelques hectares de terrain seulement est plus facile à instaurer et à gérer par les agriculteurs eux-mêmes, des superficies plus importantes nécessitent, entre autres, des machines, des connaissances techniques et de la main-d'œuvre, certains de ces facteurs étant potentiellement indisponibles ou trop onéreux (Dambo, 2007 ; Mounir et al., 2013). D'après Jaubert et al. (2010), le prix moyen d'une motopompe s'élève à 276 USD et le forage d'un puits coûte entre 18 et 166 USD. Mounir et al. (2013) signalent des tarifs beaucoup plus élevés pour la construction d'un puits, déclarant qu'elle peut facilement coûter entre 5 000 et 15 000 USD en raison du manque d'entreprises privées proposant ce genre de service. Les petits agriculteurs de subsistance, quant à eux, rencontrent souvent des difficultés pour accéder aux crédits nécessaires afin de financer ces coûts d'investissements initiaux (Cochand, 2007). De nombreux équipements d'irrigation plus vastes au Niger ont, même sous les normes internationales, des coûts d'exploitation élevés en raison de la quantité d'énergie électrique nécessaire au fonctionnement des pompes (Abernethy et al., 2000 ; Abernethy et Sally, 2002). De ce fait, ils présentent des frais d'usage élevés que ne peuvent se payer qu'une petite partie des fermiers. Cela fut le cas dans le cadre du projet de Promotion de l'Irrigation Privée (PIP) subventionné par la Banque mondiale. Ce projet soutenait des initiatives individuelles d'irrigation, offrant des subventions couvrant 80% des coûts d'investissement initiaux, par ex. pour le forage d'un puits ou la construction de canaux d'irrigation (Jaubert et al., 2010). Les 20% restants devaient être payés par les bénéficiaires du projet, et ainsi, ces derniers étaient majoritairement des fonctionnaires ou des commerciaux, avec une proportion faible de fermiers, incapables de financer la contribution personnelle nécessaire ou le prix de l'équipement défini par le projet et souvent bien supérieur aux prix du marché (Jaubert et al., 2010).

En outre, il existe des obstacles biophysiques à l'installation d'infrastructures d'irrigation, notamment la disponibilité en eau (Cochand, 2007). Souvent, les fleuves et les réservoirs s'assèchent plusieurs mois d'affilée, ce qui limite le potentiel d'irrigation. La salinité représente aussi un des facteurs restrictifs (Dambo, 2007 ; Moussa et al., 2020). Une irrigation excessive peut entraîner un engorgement, en particulier lorsque les systèmes de drainage ne fonctionnent pas (Moussa et al., 2020). L'engorgement peut, à son tour, provoquer une salinisation des sols et de l'eau, même dans les couches inférieures et au niveau des eaux souterraines, et menacer ainsi la production agricole. Enfin, les terres disponibles se font de plus en plus rares en raison de la pression démographique, des pratiques agricoles non durables, de l'érosion et de la médiocre qualité des sols (Cochand, 2007). Un autre problème important relatif aux terres est l'insécurité foncière qui perdure au Niger et rend difficile l'accès à la fois aux terres et à l'eau (Monimart et Tan, s.d. ; USAID, 2016). Jaubert et al. (2010) ajoutent que, dans le cadre du projet PIP, les bénéficiaires devaient présenter un titre de propriété foncière que de nombreux petits exploitants furent incapables de fournir, car soit ils cultivaient des terres à titre d'emprunt ou de location, soit ils n'avaient simplement pas accès à un titre formel. En outre, de nombreux petits exploitants ne furent pas en mesure de préparer les fiches techniques nécessaires pour poser leur candidature au projet PIP. Cela peut s'expliquer par le fait que de nombreux petits exploitants présentent un niveau d'alphabétisation ou d'éducation insuffisants (Jaubert et al., 2010).

Comme le développement, le fonctionnement et la maintenance des systèmes d'irrigation s'accompagnent de coûts financiers élevés, cela peut empêcher certains groupes sociaux d'agriculteurs de participer à la stratégie d'adaptation et de bénéficier de ses avantages. Les facteurs sociaux tels que le sexe, l'état matrimonial, l'âge et la santé continuent d'influencer considérablement l'accès des agriculteurs aux biens et aux ressources (Alston, 2013 ; Backiny-Yetna et McGee, 2015 ; Banque mondiale, 2019). Cet accès différencié se traduit également dans l'accès aux systèmes d'irrigation. Les femmes sont particulièrement touchées : dans une étude menée dans les régions de Gaya et de Bengou au sud du Niger, l'auteur ne parvint pas à trouver un seul groupe de femmes pratiquant l'irrigation et déclara que seul un petit nombre de femmes était propriétaire de terres dans ces régions (Cochand, 2007). Diarra et Monimart (2006) confirment ce problème et précisent que les Nigériennes sont traditionnellement désavantagées en ce qui concerne les droits fonciers, et que les tensions actuelles au niveau des terrains

aggravent davantage leur situation. Toutefois, l'irrigation peut améliorer la vie de différents groupes sociaux, celle des femmes en particulier, qui cultivent traditionnellement des produits maraîchers pour favoriser la sécurité alimentaire, renforcer la santé du foyer et les revenus (Reliefweb, 2012). Ces aspects prennent une importance particulière à la saison sèche, lorsque les réserves alimentaires des principales récoltes sont consommées et que les hommes partent à la recherche d'emplois dans les villes ou à l'étranger. De ce fait, si les femmes accèdent également aux équipements d'irrigation, aux formations, aux outils de financement et aux dispositifs techniques associés, l'irrigation peut favoriser l'égalité des sexes.

9.4.5 Besoins en matière de soutien institutionnel

En fonction du type d'irrigation, un soutien institutionnel est nécessaire dans différents domaines. Par exemple, la petite irrigation privée est habituellement mise en œuvre et gérée par les agriculteurs eux-mêmes, qui ont alors seulement besoin de seaux ou de technologies peu onéreuses comme les pompes manuelles ou à pédale (Jaubert et al., 2010). Cependant, les technologies manuelles nécessitent beaucoup de main-d'œuvre. De ce fait, les agriculteurs utilisent de plus en plus des motopompes dont l'accès a été facilité par le projet Fadama au nord du Nigeria, qui est soutenu par la Banque mondiale et a contribué à faciliter l'accès aux pompes motorisées au Niger voisin (Jaubert et al., 2010). Ainsi, les coûts d'investissements initiaux et l'expertise nécessaires à la petite irrigation privée peuvent être relativement réduits. En outre, la maintenance de ces systèmes d'irrigation peut être assurée par les petits exploitants eux-mêmes ou les petites coopératives, bien que ces efforts s'avèrent souvent déficients ou ne parviennent pas à se concrétiser en raison du manque de clarté concernant les responsabilités (Abernethy et al., 2000). Mais cela est différent pour les systèmes d'irrigation de plus grande envergure et plus mécanisés, qui nécessitent des conseils techniques et présentent des coûts d'exploitation élevés (Abernethy et al., 2000). Ces systèmes sont généralement gérés par l'ONAHA, toutefois, comme Abernethy et al. (2000) le soulignent, les services fournis par l'ONAHA ont été graduellement réduits par le gouvernement, son rôle principal consistant à fournir des services de conseil et de réparation des équipements de pompage. Au cours de l'atelier des parties prenantes que nous avons organisé, le rôle du secteur privé dans la participation aux stratégies d'amélioration de l'irrigation a également été souligné.

9.5 Conclusion

Si l'on tient compte de tous les critères mentionnés, l'irrigation comme stratégie d'adaptation présente un potentiel d'atténuation des risques moyen avec plusieurs avantages conjoints positifs : par ex., la mise en œuvre de l'irrigation permet de diversifier les régimes et de garantir la sécurité alimentaire (tableau 12). Toutefois, il existe de nombreux obstacles à une mise en œuvre durable et, en dépit des nombreuses surfaces encore non irriguées, son potentiel de développement est plutôt moyen du fait que les ressources en eau sont rares au Niger (Ibbi et Timothy, 2012). Un appui institutionnel serait nécessaire dans certains cas pour soutenir l'accès aux infrastructures et leur entretien afin de renforcer leur adoption par les petits exploitants. En outre, l'irrigation peut facilement entraîner le développement de répercussions inopportunes, car, dans des pays où l'eau est rare comme au Niger, l'utilisation de cette ressource doit être gérée soigneusement afin de prévenir le recul des nappes phréatiques et les conséquences liées. Comme les investissements associés à l'irrigation sont élevés, les agriculteurs ne recourent à l'irrigation que pour des systèmes de production rentables. D'après l'ACA, l'irrigation ne serait adéquate que dans une perspective à long terme. En outre, les agriculteurs ne pratiquent pas traditionnellement l'irrigation du sorgho qui a servi à notre étude de cas pour la modélisation. Finalement, il est indispensable de tenir compte des techniques traditionnelles et des pratiques de gestion des agriculteurs, de même que de la disponibilité en eau dans le contexte local pour recommander l'irrigation en tant que stratégie d'adaptation adéquate.

Tableau 12 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de l'irrigation.

Atténuation des risques	Gradient de risque	Rapport coût-efficacité	Développement	Avantages conjoints potentiels	Répercussions inadaptées potentielles	Obstacles à la mise en œuvre	Besoins en matière de soutien institutionnel
Moyenne	Indépendance vis-à-vis des risques	Élevé	Moyen	Moyens	Moyennes à fortes	Élevés	Moyens



Chapitre 10 – Gestion améliorée du fourrage et de l'alimentation du bétail

10.1 Contexte et description de la technologie

La quantité et la qualité insuffisantes des ressources alimentaires sont essentiellement à l'origine des limites de la productivité des systèmes d'élevage au Niger (Kashongwe et al., 2017 ; Amole & Ayantunde, 2016). Outre les pâturages naturels, les principales sources alimentaires du bétail sont les résidus végétaux et les sous-produits agro-industriels (ibid.). Cependant, ces dernières années, on observe une diminution de la quantité des résidus disponibles et une dégradation de la pâture naturelle (FAO, 2014), d'où l'intérêt accru d'autres sources alimentaires et de la gestion améliorée du fourrage.

Dans le monde entier, la fenaison et l'ensilage sont des méthodes couramment utilisées pour la préservation du fourrage. Dans de nombreuses régions tropicales, ce sont les alternatives les plus pratiques au niveau nutritionnel et économique (Olorunnisomo, 2015). L'effet positif du fourrage sur les rendements de lait des vaches pastorales et des troupeaux de chameaux a fait l'objet de maintes études (Kashongwe et al., 2017).

La fenaison permet de réduire la teneur en humidité du fourrage vert à un niveau suffisamment faible pour bloquer l'action des enzymes et des microorganismes et assurer un stockage de longue durée. Le meilleur moment de la récolte est celui de la floraison précoce, lorsque le niveau maximum de richesse en nutriments est atteint, mais c'est aussi celui où la teneur en humidité est la plus élevée. Récolter au moment opportun signifie trouver le bon équilibre entre une croissance suffisante du fourrage et des conditions météorologiques assez sèches (FAO, 2020). À ce jour, au Niger, la production du foin provient principalement des espèces fourragères herbacées poussant naturellement comme *Pennisetum pedicelatum* et *Digitaria ciliaris* (Ayantunde et al., 2009). À la différence de la fenaison, l'ensilage est une technique de conservation du fourrage en l'absence d'oxygène et dans un environnement acide. Il s'agit notamment de placer les herbes vertes coupées (ayant poussé naturellement ou cultivées) dans un conditionneur sans air (emballage ou silo), permettant le processus de fermentation anaérobie. L'acidification se fait par les bactéries lactiques présentes dans le fourrage (Olorunnisomo, 2015). Outre les graminées fourragères, la plupart des résidus de récolte peuvent être conservés grâce à l'ensilage. L'ensilage est également possible lorsque la teneur en humidité des herbes risque de compromettre la qualité du foin et ne permet plus la fenaison (Bhandari, 2019).

Au Niger, les sources de fourrage dépendent en grande partie des zones agroécologiques. Dans la zone agricole au sud, le fourrage est surtout produit à partir des résidus ou déchets agricoles, tandis que dans les systèmes pastoraux et agropastoraux de la région désertique, les résidus agricoles sont moins disponibles (Rhissa, 2010). En 2011, le gouvernement nigérien a mis en place un programme d'urgence pour promouvoir les cultures fourragères, notamment le bourgou, le sorgho et le niébé fourragers, ainsi que la luzerne fourragère. Ce programme fut élaboré en réaction au manque de fourrages des années 2011 et 2012 (Ayantunde, 2017) qui avait surtout touché les zones pastorales. Dans ce cadre, le Projet d'Appui au Développement Agricole de l'Irhazer, du Tamesna et de l'Aïr (PADA/ITA) a en particulier encouragé la culture de la luzerne sur les périmètres irrigués de sa zone d'intervention à Agadez, mise en lumière dans cette analyse. Avec le soutien du projet, 50 hectares de luzerne ont été établis sur les sites pilotes (Chambre Régionale d'Agriculture d'Agadez, 2016). Cette initiative a également contribué à l'adoption, désormais, de la production de la luzerne irriguée dans d'autres parties de la région. Un des avantages que l'on peut citer est que la culture des plantes et des graminées fourragères permet d'exploiter au maximum les systèmes d'irrigation en dehors de la haute saison, lorsque les cultures ne peuvent pas être cultivées (WASCAL, 2021).

10.2 Potentiel d'atténuation des risques biophysiques

Variétés améliorées de sorgho fourrager

La variété de sorgho améliorée a été choisie à partir de l'historique de sa sélection, de sa phénologie (maturité et sensibilité à la photopériode) et de sa capacité de rendement en grains pour représenter des types de sorgho contrastés cultivés en Afrique de l'Ouest (Adam et al., 2018). Dans cette étude, nous avons utilisé Fadda, un hybride simple dérivé de parents de race guinéenne avec une capacité de rendement en grains dépassant celle des variétés locales utilisées par les agriculteurs (Rattunde et al., 2016). La variété Fadda est un hybride amélioré ayant une échéance de maturité moyenne (100 à 135 jours), à haut rendement (>3t/ha). Un de ses principaux avantages vis-à-vis des variétés traditionnelles est la taille moyenne de sa plante et sa sensibilité modérée à la photopériode. La variété Fadda a un double usage, pouvant être utilisée à la fois comme biomasse et pour ses grains, car ses feuilles restent vertes jusqu'à maturité physiologique. Celles-ci sont caractérisées par de courts entre-nœuds et offrent une meilleure digestibilité pour les animaux.

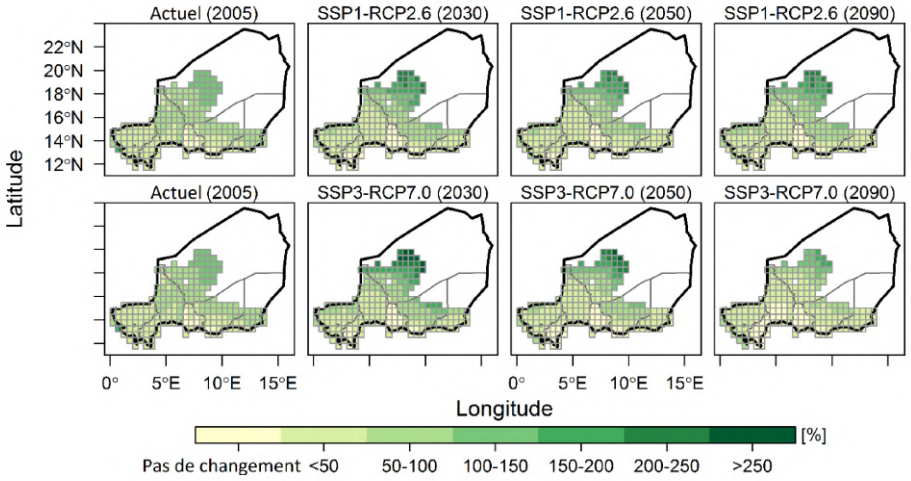


Figure 61 : Répartition spatiale de l'analyse des impacts avec la variété améliorée.

Dans l'ensemble, sur toutes les cellules, la variété améliorée présente une augmentation des rendements considérable, jusqu'à 250% dans certaines zones, en particulier au nord du Niger en vertu des deux scénarios d'émissions. En vertu du scénario d'émissions élevées, les parties sud-ouest et centrales de la région du Niger ont des rendements positifs inférieurs, mais la région du nord connaît des impacts positifs plus élevés. Le besoin en eau des cultures est optimal dans la région du nord du Niger, grâce aux précipitations plus fortes que dans le sud, ce qui explique pourquoi des rendements plus élevés peuvent être atteints. Toutefois, les deux scénarios d'émissions ont révélé des impacts positifs importants sur les rendements de la variété améliorée.

La figure 62 montre la variabilité des impacts sur les rendements avec la variété améliorée pour les deux scénarios d'émissions et les différentes périodes. Le scénario de réduction des émissions a maintenu des impacts constants sur les rendements au fil du temps, tandis que le scénario d'émissions élevées présente une tendance à la baisse au fil du temps, ce qui signifie qu'avec l'affirmation du changement climatique, les bénéfices offerts par une variété améliorée sont quasiment réduits de moitié. La variabilité de la réponse s'accroît également au fil du temps en vertu du scénario d'émissions élevées.

La figure 63 montre la variabilité régionale des impacts sur les rendements avec la variété améliorée selon les deux scénarios d'émissions et les différentes périodes. Toutes les régions présentent des impacts sur les rendements situés entre 10 et 80%, sauf pour Agadez qui présente des hausses de plus de 90% avec la variété améliorée. Si l'on compare toutes les périodes, les régions nord du Niger ont des rendements plus élevés avec la variété améliorée que les régions du sud dans le cas des deux scénarios d'émissions.

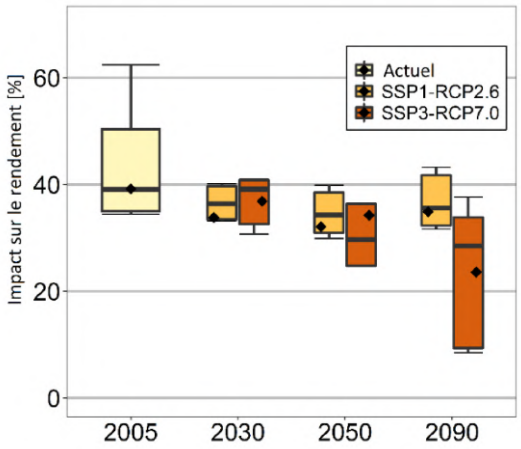


Figure 62 : Intercomparaison des impacts sur les rendements à différentes périodes avec la variété améliorée.

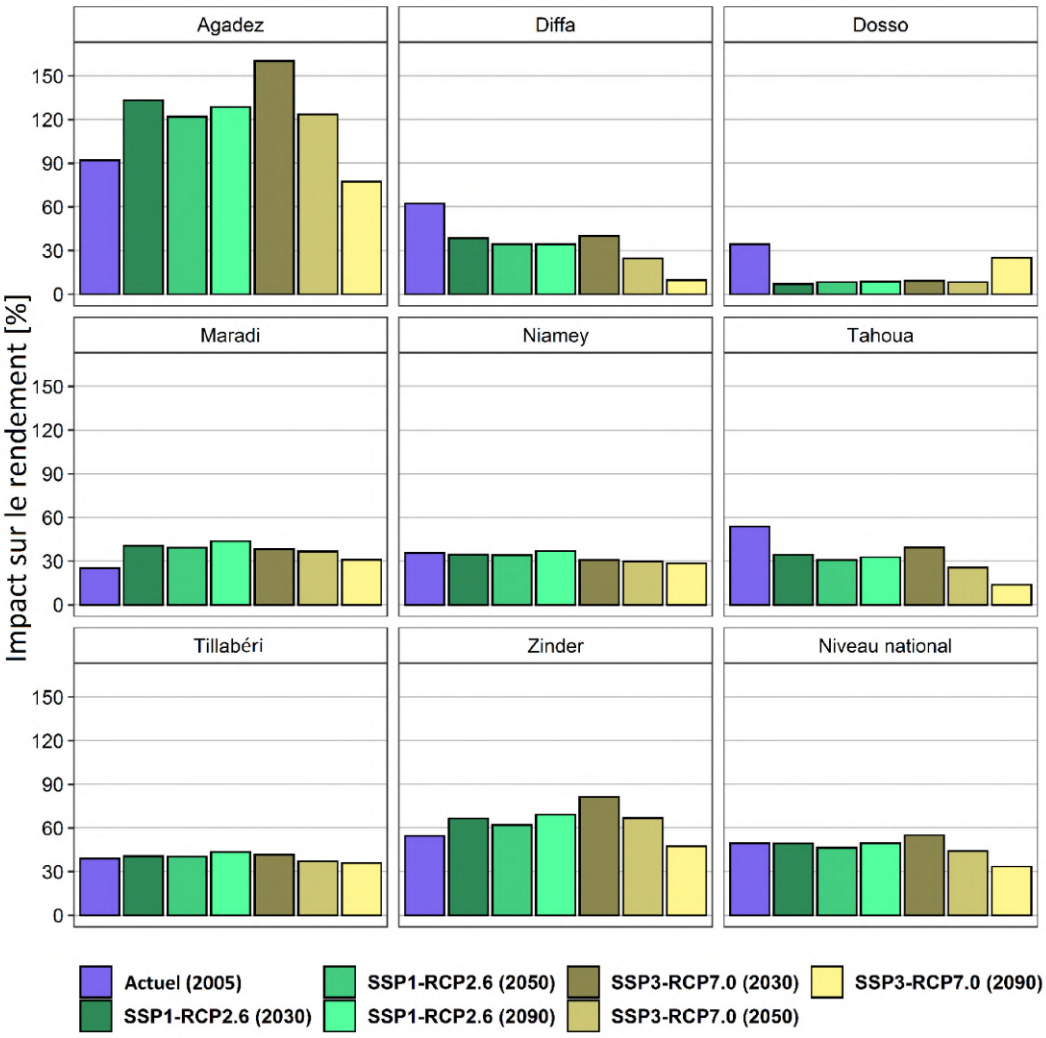


Figure 63 : Impacts sur les rendements par région avec la variété améliorée selon les différents scénarios et les différentes périodes.

Le fauchage comme option d'adaptation

Pour compléter l'évaluation précédente sur les variétés améliorées de sorgho en tant qu'option pour la gestion améliorée du fourrage, cette analyse tente d'évaluer l'efficacité du fauchage et du stockage du fourrage en tant que bonnes pratiques pastorales pour une gestion durable des terres, contribuant ainsi à une meilleure gestion des fourrages. L'un des objectifs principaux consiste à améliorer à la fois la qualité et la quantité de la disponibilité du fourrage durant la saison sèche.

La figure 64 compare les rendements annuels des herbages dans cinq départements du Niger exerçant une gestion du pâturage (marquées "G" dans la figure) et quatre régimes de gestion de fauchage différents (marqués "M1" à "M4"). La première colonne présente les résultats de la période historique (1995–2014). Les autres colonnes présentent les périodes à venir. Les régimes de fauchage M2 and M3 (avec respectivement deux et trois événements de fauchage par an) offrent des rendements plus élevés que les régimes de fauchage M1 et M4 dans tous les départements et à toutes les périodes. Comparé au pâturage, le fauchage conduit généralement à des rendements annuels inférieurs dans tous les départements sauf celui de Dosso.

Au cours de la période historique, les rendements du fauchage sont près de 30% inférieurs aux potentiels de pâturage (comme cela a été calculé au chapitre 4) dans les départements de Maradi et de Tillabéri, et d'environ 45% inférieurs aux potentiels de pâturage dans le département de Tahoua. Outre une production généralement moindre, le fauchage montre également une plus grande incertitude que le pâturage, comme le montre la longueur des boîtes à moustaches de la figure 64. Chaque rangée présente les résultats d'un département. Chaque panel d'une rangée présente un intervalle périodique et un scénario d'émissions. Dans chaque panel, la première boîte à moustaches indique le rendement annuel lié au pâturage, les quatre autres boîtes indiquent les rendements liés aux quatre différents régimes de fauchage. La longueur de chaque boîte illustre l'étendue sur les dix MCM et les 20 années, et elle peut être considérée comme une mesure d'incertitude. La ligne horizontale en pointillés dans chaque rangée indique le rendement de pâturage moyen au cours de la période historique et sert de guide visuel pour évaluer rapidement si les rendements augmentent ou baissent selon les régimes de fauchage ou dans le cadre du changement climatique.

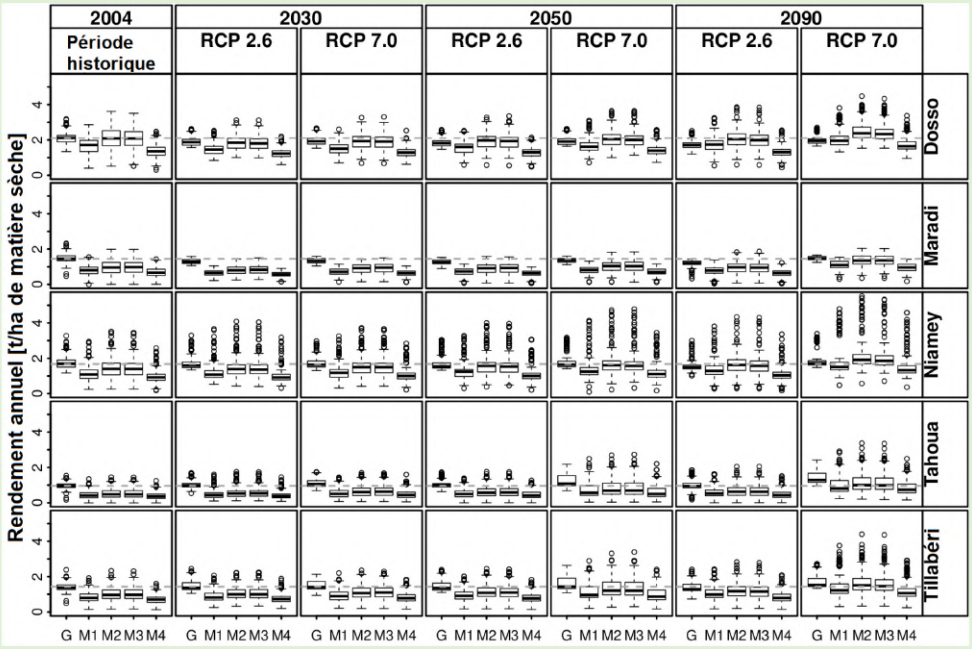


Figure 64 : Rendements sous des gestions de pâturage et de fauchage avec un seul événement de fauchage par an le 1er octobre (M1), deux événements de fauchage par an le 1er août et le 1er octobre (M2), trois événements de fauchage par an le 1er mai, le 1er août et le 1er octobre (M3), et un seul événement de fauchage tardif, le 1er novembre (M4).

On en déduit que les rendements de fauchage sont plus sensibles que les potentiels de pâturage à la variabilité interannuelle et aux différences entre les MCM. Étant donné ces circonstances, le fauchage ne semble pas représenter une alternative intéressante au pâturage dans la plupart des zones du Niger. Associé au stockage, le fauchage offre bien une possibilité d'accroître les disponibilités fourragères pendant la saison sèche. Cela nécessite cependant un traitement convenable du fourrage afin d'éviter des pertes pendant le stockage, ainsi que des installations de stockage adéquates.

10.3 Analyse coûts-avantages de la gestion améliorée du fourrage et de l'alimentation du bétail : les banques de luzerne fourragère irriguée

La viabilité au point de vue économique des banques de luzerne fourragère irriguée comme stratégie d'adaptation est testée en comparant les revenus supplémentaires liés au changement et les coûts supplémentaires associés. Pour cela, nous analysons les coûts et les avantages des gardiens de troupeaux de chameaux qui mettent en œuvre la stratégie par rapport à ceux qui ne se lancent pas dans la production de luzerne. Nous comparons deux scénarios de changement climatique différents, chacun projeté jusqu'en 2050, en nous basant sur un scénario référentiel décrivant la situation actuelle.

10.3.1 Référentiel et scénarios

Le référentiel et les scénarios sont définis ainsi :

Référentiel (sans mesures, sans impacts climatiques) : Élevage de chameaux en recourant au pâturage comme source alimentaire principale dans les conditions climatiques et technologiques actuelles dans la région.

Pas d'adaptation (pas de mesures, impacts du changement climatique en vertu des scénarios de réduction des émissions et d'émissions élevées) : Élevage de chameaux en recourant au pâturage comme source alimentaire principale, sans faire pousser ses propres banques de luzerne fourragère. Les revenus du marché et les coûts de production du système sont extrapolés jusqu'en 2050 en présupposant des impacts du changement climatique sur les rendements en vertu de RCP4.5 et de RCP8.5.

Adaptation (mesures, impacts du changement climatique en vertu des scénarios de réduction des émissions et d'émissions élevées) : Élevage de chameaux en recourant aux banques de luzerne fourragère irriguée comme source d'alimentation supplémentaire pour le bétail et pour la vente. Les revenus du marché et les coûts de production du système sont extrapolés jusqu'en 2050 en présupposant des impacts du changement climatique sur les rendements similaires en vertu de RCP4.5 et de RCP8.5.

10.3.2 Données de l'étude

Les données économiques utilisées pour calculer l'ACA ont été recueillies auprès de onze éleveurs de chameaux dans la région d'Agadez au centre du Niger. Tous les fermiers cultivent la luzerne sur des terres où des systèmes d'irrigation sont installés au préalable et loués par le gouvernement, qui a mis en place ces dispositifs d'irrigation dans le cadre du Projet d'Appui au Développement Agricole de l'Irhazer, du Tamesna et de l'Aïr (PADA/ITA). Ce système californien est un réseau de canalisations enterré dans le sol qui permet d'apporter de l'eau depuis la source jusqu'aux champs des fermiers qui présentent une surface moyenne de 0,25 ha pour accueillir la luzerne. Cependant, tenant compte des paramètres économiques standards pour les exploitations agricoles et pour une meilleure comparaison de tous les scénarios, nous analysons les revenus moyens du marché et les coûts de production associés pour un hectare. Les fermiers ont fourni des informations précises sur les coûts de production, sur les rendements de luzerne ainsi que sur les prix du marché au niveau local. Afin de déterminer les variations des revenus du marché et des coûts de production dus à l'adaptation, les points suivants sont pris en compte pour les fermiers qui adoptent la stratégie :

- Comme la plupart des systèmes d'irrigation étaient déjà installés (sauf dans le cas d'un fermier) et que les coûts étaient couverts par le projet, les fermiers ne supportent pas les coûts pour l'installation. Toutefois, ils paient un loyer annuel moyen de 14 840 francs CFA (27 USD[18]) pour le projet. En outre, pour certains des fermiers interviewés, des coûts supplémentaires sont occasionnés par l'irrigation pendant la saison des pluies. Ceux-ci s'élèvent à 1 740 francs CFA (3 USD) par an et par hectare.
- La production de la luzerne s'étend sur toute l'année, et sa récolte s'effectue à dix reprises. De ce fait, elle requiert une main-d'œuvre importante et comprend, outre les étapes de production régulière, de nombreuses journées vouées à l'irrigation, à la transformation fourragère, au stockage et au transport vers les marchés de vente. Aussi, la lutte mécanique contre les nuisibles, comme le désherbage, nécessite un apport de travail comparativement élevé. Ce travail est réalisé par des membres de la famille ou des ouvriers externes. En tout, les fermiers passent 430 jours par hectare à la culture de la luzerne. En utilisant le taux de rémunération journalier moyen des ouvriers agricoles extérieurs à l'exploitation obtenu à partir de l'étude, qui correspond à 2 269 francs CFA (~ 4 USD), nous obtenons des coûts de main-d'œuvre s'élevant à 975 996 francs CFA
  (~ 1,783 USD) par année, par hectare et par an, ce qui représente le deuxième facteur de coûts le plus important (WASCAL, 2020).
- Les principaux facteurs de coûts sont liés aux intrants, comme les engrais naturels ou à base d'urée, et les semences. Les coûts totaux pour les fermiers s'élèvent à 1 591 755 francs CFA (2 907 USD) par an (ibid.).
- Comme la production de luzerne dans la région d'Agadez est subventionnée par le gouvernement, la majeure partie des équipements nécessaires à la production est donnée aux fermiers. De ce fait, la plupart des fermiers ayant pris part à l'étude n'ont pu fournir que des informations sur le nombre d'outils dont ils ont eu besoin et sur la durée de vie de ceux-ci, mais pas sur les coûts. Cependant, pour obtenir une image réaliste des coûts liés à l'adaptation, nous avons souhaité inclure les coûts d'équipement et donc utilisé les valeurs moyennes à partir d'autres études de cas d'adaptation. Nous avons calculé les coûts d'achat initiaux et de renouvellement pour une charrue, une brouette, une pelle et une pioche ou une houe.
- D'après l'étude, les fermiers utilisent une petite part de la récolte de luzerne (26%) pour le fourrage destiné aux chameaux et en vendent la majeure partie (74%) sur les marchés locaux. Toutefois, pour être en mesure de définir la valeur monétaire de la luzerne qui sert à alimenter le bétail, nous y avons aussi attribué le prix commercial de 205 francs CFA (~ 0,37 USD) pour un kilo de foin. Ces prix sont des valeurs moyennes des prix du marché indiqués dans l'étude sur les ménages. Pour calculer les revenus totaux, nous prenons la quantité moyenne des rendements de luzerne du site du projet qui s'élève à 2 400 kg de matière fraîche par hectare et par récolte. La luzerne est vendue sous forme de foin et se réduit donc à 1 100 kg de matière sèche par hectare et par coupe[19]. Cette valeur a ensuite été multipliée par le nombre de récoltes (dix) par an comme indiqué dans l'étude (WASCAL, 2020).

10.3.3 Suppositions

Pour compléter les informations des données de l'étude, des suppositions complémentaires sur les effets des progrès technologiques, de l'inflation et du changement climatique ont dû être posées :

- En raison du manque d'informations concernant les effets du changement climatique sur les rendements de luzerne, nous avons élaboré un indicateur à partir de l'évolution des rendements induite par le changement climatique sur des papilionacées comme les pois chiches, le niébé et les arachides en nous basant sur les projections du PIK, ce qui présuppose une trajectoire démographique et une croissance économique en vertu de SSP2, d'un scénario de réduction des émissions selon RCP4.5 et d'un scénario d'émissions élevées selon RCP8.5. (Aschenbrenner et al., 2021).
- Pour représenter le taux d'inflation, nous avons calculé le taux de croissance exponentiel du PIB par habitant au Niger ces 30 dernières années, sa valeur est de 2,35% (FAOSTAT, 2021b).

[18] Tous les taux de change ont été recueillis le 15.04.2021 sur : https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/how-eu-funding-works/information-contractors-and-beneficiaries/exchange-rate-inforeuro_en

[19] Cette donnée a été fournie par WASCAL et se réfère aux données officielles du site du projet analysé ici.

10.3.4 Résultats

Comme l'indique la figure 65, les résultats de l'ACA montrent qu'en 2050, la stratégie d'adaptation qui consiste à produire de la luzerne fourragère irriguée serait avantageuse pour les fermiers, car elle présente un retour positif élevé sur l'investissement. Cela s'applique aux deux scénarios de changement climatique, toutefois RCP4.5 offre des résultats à peine meilleurs que ceux de RCP8.5. En particulier, il convient de souligner les points suivants :

- Partant d'une valeur actuelle nette (VAN) négative de -1 166 980 francs CFA (~ -2 156 USD) en 2020, le flux de trésorerie net des fermiers et la VAN aussi deviennent positifs dès la deuxième année. Les coûts d'investissement initiaux comparativement faibles et les coûts de réinvestissement entraînent une hausse constante de la VAN dès le début, qui s'élève à 35 812 578 francs CFA (~ 65 243 USD) pour RCP4.5 et à 34 349 506 francs CFA pour RCP8.5 (~ 62 578 USD) en 2050. Cela signifie que le seuil de rentabilité entre les coûts nets accumulés et les bénéfices nets dans le cas des deux scénarios d'émissions est donc atteint en 2021, la deuxième année de l'investissement.

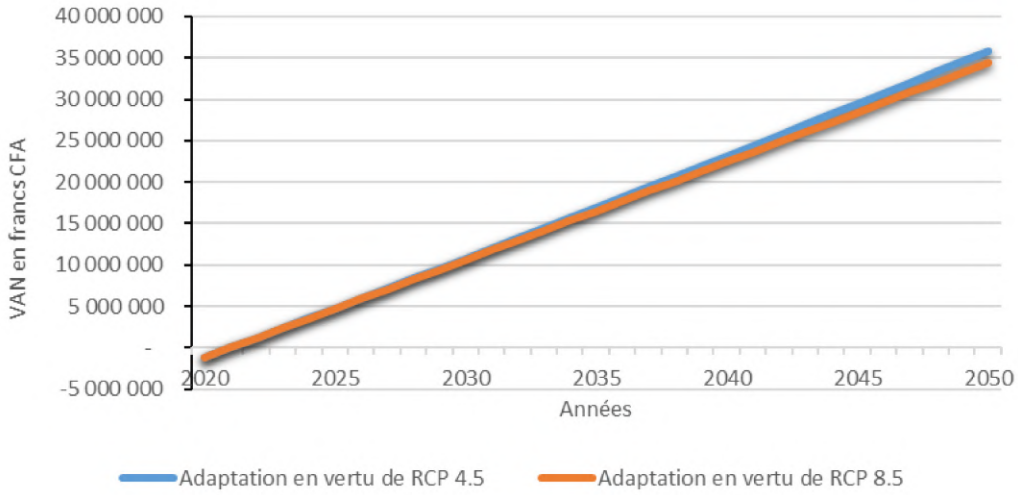


Figure 65 : Évolution de la valeur actuelle nette dès transition à la production irriguée de luzerne.

Par conséquent, le taux de rendement interne (TRI) est très positif et rapporte 105,97% pour un effort d'adaptation en vertu de RCP4.5 et 105,6% pour un effort d'adaptation en vertu de RCP8.5. En supposant une perspective de rentabilité globale, souvent prise pour une ACA locale, tout TRI supérieur à 6,0% est considéré comme un investissement rentable. Le rapport avantages-coûts (A/C) de l'investissement pour l'adaptation le confirme par les résultats suivants : en 2050, il est de 2,44 en vertu du scénario de réduction des émissions et de 2,88 en vertu du scénario d'émissions élevées (voir aussi le tableau 13).

Tableau 13 : Récapitulatif des principaux indicateurs ACA pour la transition à la production de luzerne fourragère sur les banques de fourrage irriguées.

	Adaptation en vertu du scénario de réduction des émissions	*Adaptation en vertu du scénario d'émissions émissions élevées*
TRI	105,97%	105,61%
VAN	35 812 578 francs CFA (~ 65 243 USD)	34 349 506 francs CFA (~ 62 578 USD)
A/C	2,44	2,38

10.4 Évaluation multicritère

10.4.1 Potentiel de développement

La production de stocks de luzerne fourragère présente de nombreux avantages pour renforcer la résilience climatique des systèmes traditionnels d'élevage du bétail au Niger. Elle permet un apport de fourrage à la saison sèche et est donc une alternative efficace aux activités pastorales des gardiens de troupeaux à la recherche de ressources fourragères abondantes. Outre la production de fourrages pour l'autoconsommation, la vente des excédents de fourrages permet d'augmenter les revenus. Cela fait naître des avantages économiques considérables et offre la possibilité d'accroître le nombre d'animaux d'étable, ce qui permet de générer alors des revenus supplémentaires.

Outre ces avantages économiques, la luzerne peut être cultivée à grande échelle, ce qui permet d'augmenter la couverture végétale et de contribuer ainsi à la protection et à la réhabilitation des sols. Comme la technologie est facile à appliquer et ne nécessite pas de formation académique, son potentiel de développement est élevé, dans la mesure où les responsables politiques assurent un soutien robuste au niveau de l'éducation et de la médiation des programmes d'irrigation. Cependant, il faut également tenir compte des besoins liés à la mise en œuvre de l'irrigation, car cela peut entraver la faisabilité de cette stratégie (voir les résultats du chapitre précédent).

10.4.2 Développement d'avantages conjoints

Outre le renforcement de la résilience au changement climatique et le développement des revenus et des moyens de subsistance des fermiers, bien d'autres avantages conjoints liés à la production de la luzerne peuvent être cités. L'un de ses effets positifs majeurs est la création d'emplois pour les femmes des communautés. Une analyse des rôles sexospécifiques a montré qu'en général, pour soutenir leur famille et les revenus, les femmes sont davantage impliquées dans la production et la gestion des fourrages que les hommes (Ayatunde et al. 2017). Les fermiers de l'étude des ménages ont confirmé à l'unanimité cet effet positif vis-à-vis de l'emploi des jeunes et des femmes dans leurs communautés. Ils ont souligné en outre l'effet positif sur la cohésion communautaire et sur leurs relations de voisinage. L'étude a également montré que l'instauration des banques de luzerne fourragère s'est accompagnée d'une baisse globale de la charge de travail fermier (WASCAL, 2021). Comparée à d'autres cultures fourragères comme le maïs et le soja, la luzerne constitue également une source de protéines peu coûteuse. En fonction de l'époque de la coupe, la masse sèche est constituée à entre 18 et 20% de protéines (FAO, 2014). C'est un fourrage faible en fibres qui convient bien au bétail, car il est facilement digéré et contient des acides aminés essentiels, du potassium et davantage de calcium que d'autres cultures fourragères. Au point de vue agronomique, c'est une culture intéressante en raison de ses rendements élevés (les rendements de la matière sèche se situent entre 10 et 20 t/ha), de sa stabilité, de sa relativement bonne tolérance à la sécheresse et de son utilisation efficace de l'eau grâce à ses racines profondes (Naylor, 2003). Pour sa production, l'utilisation de l'eau par la luzerne est élevée, comparée à d'autres cultures fourragères comme le maïs (FAO, 2014). Sa fixation de l'azote présente un avantage non négligeable dans sa contribution à la fertilité des sols, un aspect important pour la rotation des cultures. La luzerne convient bien à l'agriculture de conservation, car elle empêche l'érosion des sols, améliore la santé des terres et présente des bienfaits pour la faune. Habituellement, la luzerne se cultive sur trois ou cinq ans, et sa récolte est réalisée mécaniquement ou manuellement en fonction de la taille de la ferme (Ahmed et Faki, 2020).

10.4.3 Répercussions inopportunes potentielles

Les terres agricoles fertiles sont des ressources rares. La culture de la luzerne apporte de multiples avantages aux gardiens de troupeaux et aux éleveurs du Niger, mais elle réduit la disponibilité des terres pour d'autres fins agricoles, telles que la production de cultures de base ou de légumes destinés à la consommation humaine. Une planification adaptée et une sélection soigneuse des terres adaptées à la production fourragère permettent d'éviter de tels conflits (Olorunnisomo, 2015). Un autre effet inverse lié à une meilleure disponibilité de fourrages, c'est le risque d'entraîner une hausse du nombre d'animaux et, ainsi, des émissions de gaz à effet de serre, qui renforceraient le changement climatique. Ici aussi, une planification adéquate de la densité du bétail pourrait remédier à cet effet.

10.4.4 Obstacles à la mise en œuvre

L'un des principaux obstacles techniques est l'emballage et le transport des herbes de luzerne séchées, car la faible densité de l'emballage traditionnel augmente les coûts de transport. Mais ce problème a déjà été saisi par le projet PADA/ITA mentionné ci-dessus. En coopération avec d'autres institutions de recherche nigériennes comme l'*Ecole des Mines de l'Aïr (EMAIR)* et le *Centre de Formation Professionnelle et Technique (CFPT)* d'Agadez, le projet a développé une presse à foin manuelle innovante qui fut ensuite fournie sur le site d'intervention pour la luzerne par la Chambre régionale d'agriculture (CRA) d'Agadez. Un nouveau support institutionnel serait désormais nécessaire pour assurer une vaste mise à disposition de cette technique à d'autres producteurs de luzerne. Si ce problème n'est pas résolu et que les coûts d'emballage et de transport restent élevés, cela pourrait former un obstacle à l'adoption de cette stratégie par les fermiers. En outre, la production de luzerne requiert une forte utilisation d'eau comparée à d'autres cultures (Djaman, 2020). L'accès à des équipements d'irrigation ou à des parcelles irriguées est donc indispensable. On a pu déduire des réponses fournies dans l'étude que les principales raisons de ne pas produire de la luzerne sont de nature financière. Même si des parcelles irriguées sont accessibles, nombre de fermiers manquent de moyens pour en financer la location ou bien, si des parcelles ne sont pas disponibles, pour installer leur propre système. Toutefois, l'une des raisons principales citées au sujet du refus d'adopter la stratégie fut le manque d'informations. Si davantage de travail éducationnel pouvait être réalisé dans ce domaine, de meilleurs résultats pourraient être atteints.

10.4.5 Besoins en matière de soutien institutionnel

Bien que les femmes et les jeunes gens sont des acteurs essentiels dans la production fourragère, ils rencontrent un certain nombre de difficultés concernant l'accès aux ressources liées à la production fourragère et alimentaire et leur contrôle. Ces obstacles proviennent de barrières culturelles et socio-économiques, y compris le fait qu'au Sahel, les terres cultivées sont souvent léguées en héritage de père à fils, ce qui signifie que les femmes accèdent aux terres seulement grâce au mariage. Au niveau du ménage également, les ressources foncières cultivées sont sous contrôle du chef du ménage, généralement un homme. Comme les femmes ne sont pas propriétaires des terres qu'elles cultivent, elles sont bien souvent exclues des prises de décision. Renforcer les droits des femmes et leur participation aux processus décisionnels permettrait d'exploiter la possibilité d'améliorer la durabilité et la productivité de la chaîne de valeur du fourrage (Ayantunde, 2017).

10.5 Conclusion

Si l'on tient compte de tous les critères mentionnés, la stratégie d'adaptation consistant à améliorer la gestion du fourrage avec l'option de recourir à des variétés améliorées présente un potentiel d'atténuation des risques élevé. La production irriguée de luzerne est une stratégie rentable qui présente plusieurs avantages conjoints positifs (Tableau 14). Associé au stockage, le fauchage offre bien une possibilité d'accroître les disponibilités fourragères pendant la saison sèche. Cependant, la production fourragère doit être soigneusement planifiée afin d'éviter des répercussions négatives telles que des conflits éventuels sur les zones adaptées aux cultures de base ou l'utilisation des ressources en eau. Un appui institutionnel serait nécessaire dans certains cas pour soutenir l'accès aux infrastructures et leur entretien, afin de renforcer leur adoption par les petits exploitants. En outre, tous les critères dont il faut tenir compte pour la gestion de l'irrigation jouent également un rôle important.

Tableau 14 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de la gestion améliorée du fourrage.

Atténuation des risques	Gradient de risque	Rapport coût-efficacité	Développement	Avantages conjoints potentiels	Répercussions inadaptées potentielles	Obstacles à la mise en œuvre	Besoins en matière de soutien institutionnel
Élevée	Indépendance vis-à-vis des risques	Moyen à fort	Moyen à fort	Moyens	Moyennes	Moyens	Moyens



Chapitre 11 – Incertitudes

Les résultats présentés ci-dessus sont soumis à un certain nombre d'incertitudes et de limites qui doivent être pleinement prises en compte afin d'assurer une interprétation correcte et de pouvoir esquisser des implications et des recommandations au niveau politique. Ce chapitre présente et évalue les incertitudes liées aux différents types d'analyses utilisées dans cette étude, et met en lumière leur pertinence dans le contexte du Niger.

11.1 Données des modèles climatiques

Le développement des modèles climatiques a fait de gros progrès ces dernières décennies, mais les modèles climatiques présentent encore des incertitudes importantes en ce qui concerne la simulation du climat actuel (Tebaldi et Knutti, 2007). Pour éliminer les biais des simulations climatiques et adapter les modèles à notre analyse des modèles culturaux, les données climatiques sont traitées statistiquement (correction de biais) à l'aide de nos ensembles de données climatiques observationnelles. Cette approche a des limites importantes (Ehret et al., 2012 ; Maraun, 2016), car elle ajuste les données simulées aux observations sans corriger l'incapacité des modèles à représenter certains processus physiques du système planétaire. Toutefois, cette étape est nécessaire et appropriée pour obtenir des simulations réalistes des impacts climatiques (Chen et al., 2013 ; Teutschbein et Seibert, 2012). Nous avons analysé la performance de chaque modèle climatique individuellement afin de représenter le climat actuel pour s'assurer qu'aucun des modèles ne présente de biais extrêmement fort. Travailler avec un ensemble de modèles climatiques permet de réduire éventuellement les biais que présentent les modèles individuels. En outre, les ensembles de données observationnelles climatiques eux-mêmes sont imparfaits, surtout dans les régions dotées de peu de stations météorologiques. Les ensembles de données utilisés sont basés sur des modèles de réanalyse, des observations satellites et des données stationnaires. En raison de la faible densité de données stationnaires à long terme et fiables en Afrique occidentale, les ensembles de données présentent de forts biais, en particulier sur une petite échelle.

L'analyse du climat à venir dans ce rapport repose sur dix modèles climatiques mondiaux, dont les biais ont été corrigés, et qui ont été conçus dans le cadre du projet ISIMIP3b (https://www.isimip.org/protocol/3/), inscrit dans un sous-ensemble du Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) utilisé dans le prochain rapport AR6 du GIEC.

En outre, les projections climatiques pour l'avenir s'accompagnent d'incertitudes visibles aux divergences présentées par les projections de températures et de précipitations sur différents modèles climatiques. Les MCM projettent la même tendance pour les températures sur l'Afrique, mais les projections des modèles au sujet des précipitations ne concordent que dans certaines régions (Niang et al., 2014). Pour établir des conclusions générales sur les impacts climatiques à venir, il est important de sélectionner des modèles qui couvrent la totalité des résultats des modèles climatiques, c'est-à-dire d'appliquer des modèles prévoyant des tendances humides et sèches dans leurs projections de précipitations (le cas échéant) ainsi que différentes amplitudes pour les variations des températures projetées dans la région cible. Les tendances divergentes liées aux projections des précipitations dans les dix modèles choisis présentent des régimes similaires à l'ensemble du modèle CMIP5 utilisé auparavant (Niang et al., 2014), ce qui laisse supposer que les modèles conviennent pour couvrir l'amplitude des précipitations éventuelles à venir au Niger.

Les dix modèles recouvrent une grande ampleur de sensibilité climatique[20] avec des valeurs de sensi-

[20] La sensibilité climatique d'un modèle influence les projections futures du modèle. Elle montre l'ampleur des variations des températures de la Terre après modification du système climatique, par ex., en cas de concentration en CO_2 modifiée.

bilité climatique à l'équilibre (ECS) [21] de 1,53-5,41 °C (Nijsse et al., 2020). Toutefois, l'ensemble des modèles présente un biais concernant les sensibilités climatiques à l'équilibre plus élevées : quatre modèles sur dix ont une sensibilité climatique à l'équilibre supérieure à 4,5 °C, ce qui est très improbable, comme l'indiquent différentes études (Nijsse et al., 2020). Cela signifie que les hausses de températures présentées par cinq modèles suggèrent des températures élevées improbables à l'avenir dans le cadre d'une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre, et la médiane de l'ensemble multi-modèles présentera un biais sur les projections de réchauffement.

11.2 Modèles hydrologiques

La plus grande source d'incertitude dans la modélisation hydrologique et l'évaluation des impacts provient des résultats des modèles climatiques (voir par ex. Vetter et al., 2015 ; Vetter et al., 2017). Comme cela est expliqué dans la partie 11.1, nous avons observé un écart important dans certains modèles climatiques, ce qui entraîne des variations extrêmes du débit fluvial et du bilan hydrologique vers la fin du siècle. Les modèles CanESM5 et EC-Earth3 en sont deux exemples : les précipitations annuelles augmentent beaucoup plus fortement en comparaison à d'autres modèles et peuvent même presque atteindre le double des quantités mesurées à la période historique.

Toutefois, quelques problèmes relatifs aux données s'ajoutent aux répercussions des incertitudes :

- La disponibilité des données sur le débit fluvial observé (nombre de stations, périodes disponibles et nombreux manques au niveau chronologique) limite l'étalonnage et la validation des modèles hydrologiques.
- Les données climatiques du bassin du Niger sont nécessaires pour paramétrer SWIM. De ce fait, des ensembles de données climatiques mondiales (maillés), WFD-ERA40 et W5E5, en fonction des données disponibles sur le débit observé, ont servi à l'étalonnage de SWIM. Lorsque la répartition des précipitations (spatiale et temporelle) est incertaine, la vérification de ces données grâce aux données observées serait nécessaire.
- Il manque des informations sur la gestion des ressources en eau (irrigation et gestion des réservoirs, paramétrage). En particulier, la disponibilité des données concernant tous les barrages du bassin du Niger central/inférieur (en aval du delta intérieur du Niger) est insuffisante. La gestion (future) de l'eau et des terres dans le delta supérieur et intérieur du Niger, incluant d'éventuels (nouveaux) barrages et l'utilisation de l'irrigation pour l'agriculture, est également source d'incertitude.
- En outre, il serait bien de recourir à des contrôles qualité plus avancés des données d'entrée (paramétrage du sol comprenant, par ex., une adaptation de la profondeur des sols, paramétrage de l'utilisation des sols et de la couverture terrestre associés à une validation des cycles de végétation etc.).

Tous ces facteurs augmentent l'incertitude de la modélisation hydrologique et de l'évaluation des impacts climatiques en général. Cependant, nous estimons que l'analyse des tendances concernant les variations à l'échelle régionale est fiable. L'orientation des résultats clés obtenus au cours des recherches ne changerait pas, même avec des données ou des modèles plus précis.

11.3 Modèles culturaux

Les modèles culturaux servent à définir la part des variations des rendements liés à la météorologie et à projeter les impacts des variations du changement climatique sur les rendements culturaux. Ces analyses permettent d'aider les agriculteurs à prendre les décisions adéquates pour stabiliser et améliorer leurs rendements face à l'incertitude des conditions climatiques à venir. Les modèles culturaux sont souvent utilisés pour projeter ces impacts du changement climatique sur les futurs rendements, au-delà de l'amplitude observée de la variabilité des rendements et de la météo (Ewert et al., 2015 ; Folberth et al., 2012 ; Rosenzweig et al., 2014). Toutefois, l'utilisation des modèles culturaux présente certaines limites. Comme les données disponibles peuvent être restreintes, l'adaptation du modèle

[21] La sensibilité climatique à l'équilibre (ECS) est une estimation du réchauffement global constant après un doublement de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère (Nijsse et al., 2020).

risque d'être réduite (manque d'informations sur les dates de la saison de croissance, les rendements, la répartition de l'utilisation des terres, l'alternance des cultures ou l'application des engrais) (Müller et al., 2016). Aussi, la qualité des données sur les sols contribue à l'incertitude des évaluations sur les rendements (Folberth et al., 2016). Les données fragmentées et imprécises en provenance de régions présentant peu de stations météorologiques accroissent cette fragilité (Van Wart et al., 2013), surtout si des données météorologiques très locales sont nécessaires comme c'est le cas pour cette étude de district. En outre, la sélection des données des scénarios climatiques ajoute un facteur d'incertitude supplémentaire (Müller et al., 2021). Dans le cas de notre analyse, trois enjeux principaux sont apparus : premièrement, les données d'entrée du modèle peuvent contenir des erreurs. Cela est vrai pour les données météorologiques, celles sur les sols et les rendements. En ce qui concerne la météorologie, tous les ensembles de données climatiques passés comportent des incertitudes. Pour la banque de données sur les rendements, nous avons appliqué des filtres de prétraitement. Mais cela n'exclut pas les biais qui mènent finalement à des modèles instables. Deuxièmement, les séries de données à court terme sur les rendements et la gestion peuvent rendre difficile l'estimation des impacts climatiques sur les rendements des cultures. Cependant, l'ensemble de données disponibles sur le Niger est très complet et long en comparaison à d'autres pays, ce qui renforce le poids des résultats. Troisièmement, la conception de la modélisation pourrait être faussée, et une formulation plus adaptée pourrait mieux saisir les variations de rendements observées, en particulier les pertes extrêmes. Les différents types de modèles présentent certaines divergences – statistiques, apprentissage-machine et basés sur les processus – (Schauberger et al., 2017), toutefois, les trois types de modèles de cette étude de cas ont été utilisés dans des études précédentes, et il est improbable qu'ils soient considérés comme inadéquats d'un point de vue général.

11.4 Analyses coûts-avantages

Des analyses coûts-avantages (ACA) ont été menées afin d'évaluer les coûts et avantages économiques des quatre stratégies d'adaptation sélectionnées à l'échelle de l'exploitation agricole. Les ACA prenaient en considération un agriculteur représentatif en utilisant des données ménagères détaillées sur les rendements, les coûts et les prix issus d'échantillons d'enquêtes. En outre, les moyennes des données sur les coûts et les rendements ont été utilisées pour compléter et vérifier l'étude des ménages, comme cela se fait dans de nombreuses ACA. De telles ACA ont cependant des limites : elles ne permettent pas d'élucider la répartition des coûts et des avantages qu'une stratégie d'adaptation entraînerait sur un éventail de groupes d'exploitation, car une stratégie d'adaptation ne touche pas nécessairement tous les types d'exploitations de la même manière.

Les hypothèses sur les rendements dans le contexte du changement climatique avec et sans adaptation ont été faites à partir de simulations de rendements culturaux qui, à leur tour, étaient basées sur des données climatiques prévues par des modèles. De ce fait, la moindre incertitude dans les modèles culturaux et les modèles climatiques (voir ci-dessus) se traduit dans l'analyse.

L'incertitude des hypothèses concernant les futures variations des prix et des coûts ainsi que le choix du taux d'actualisation aggravent encore l'incertitude des résultats des ACA. Toutefois, les hypothèses posées dans notre étude sont basées sur des études menées dans des conditions socio-économiques comparables à celles du Niger, diverses sources de données ont été triangulées et des opinions d'experts ont été recherchées. Les conclusions de l'ACA ne devraient pas être considérées comme des résultats définitifs à attendre lors de la mise en œuvre des stratégies d'adaptation, mais elles peuvent guider la prise de décision et fournir des études de cas pour des scénarios d'adaptation. Les hypothèses sur les rendements dans le contexte du changement climatique avec et sans adaptation ont été faites à partir de simulations de rendements culturaux qui, à leur tour, étaient basées sur des données climatiques prévues par des modèles. De ce fait, la moindre incertitude dans les modèles culturaux et les modèles climatiques se traduit aussi dans l'analyse.



Chapitre 12 – Conclusion et recommandations à l'attention des politiques

12.1 Conclusion

Cette étude fournit une analyse détaillée des risques climatiques au Niger dans le but d'offrir aux décideurs nationaux et locaux une base éclairée sur les risques climatiques actuels et futurs pour le secteur agricole. Elle leur permettra de mener une planification et une mise en œuvre adéquates de l'adaptation dans le pays. L'intégralité de la chaîne d'impacts a été modélisée, des changements climatiques et hydrologiques aux impacts sur la production animale et agricole qui en découlent. Les risques liés au dérèglement climatique et à la météorologie ont été analysés d'un point de vue historique, actuel et futur par rapport à deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES) : SSP1-RCP2.6, un scénario de réduction des émissions suivant une forte atténuation conformément à l'Accord de Paris et SSP3-RCP7.0, un scénario d'émissions élevées sans politique climatique ni réduction considérable des GES.

Le changement climatique exerce des pressions supplémentaires sur le secteur agricole du Niger qui repose surtout sur des systèmes de subsistance à petite échelle. Les moyens d'existence dépendent beaucoup de l'agriculture pluviale et de la production animale pastorale. Outre sa variabilité naturelle, le climat du Niger montre une tendance claire vers le changement, et les températures extrêmes indiquent une tendance claire à l'augmentation continue. Aussi, les quantités de précipitations annuelles et les événements de précipitations extrêmes devraient augmenter. En vertu du scénario de réduction des émissions, le climat devrait se stabiliser après 2050, alors que les tendances au changement devraient se poursuivre en vertu du scénario d'émissions élevées pendant la seconde moitié de ce siècle. Cependant, au niveau statistique, le degré de confiance est bien moindre en ce qui concerne les projections pour les modifications de précipitations que pour les températures.

En vertu des deux scénarios d'émissions, les résultats indiquent une tendance générale à la hausse du débit du plus grand fleuve du pays vers le milieu du siècle, puis une baisse jusqu'en 2090, avec une hausse cependant plus forte et une baisse plus faible en vertu du scénario d'émissions élevées. Pour les bassins plus petits et plus secs, les tendances s'avèrent similaires mais leurs répercussions sont plus fortes avec une fourchette de +30-45% en vertu du scénario de réduction des émissions et de +30-145% en vertu du scénario d'émissions élevées, la divergence la plus grande étant à la fin du siècle.

En outre, les modifications hydrologiques du bassin du Niger, qui recouvre près de la moitié du pays, ont été analysées. Les tendances à la hausse des précipitations se traduisent aussi en hausse des niveaux de recharge des nappes phréatiques, dont les effets sont plus marqués au sud du Niger en vertu du scénario d'émissions élevées vers la fin du siècle. Les projections indiquent une tendance générale à la hausse du débit du plus grand fleuve du pays vers le milieu du siècle, puis une baisse jusqu'en 2090 en vertu des deux scénarios d'émissions, avec une hausse cependant plus forte et une baisse plus faible en vertu du scénario d'émissions élevées.

Comme la variabilité des rendements des cultures principales au Niger est principalement liée aux facteurs météorologiques, leur production est particulièrement exposée au changement climatique. Une étude approfondie des projections des rendements de sorgho dans les régions actuellement productrices de cette céréale montre que les rendements vont diminuer en vertu du scénario d'émissions élevées, surtout en raison des hausses des températures. Les modèles de vocation aux cultures ont montré que les zones propices au sorgho

et au millet augmenteront au Niger d'ici à 2050, tandis que les zones propices au maïs et au niébé se déplaceront vers d'autres régions mais resteront stables en moyenne. En outre, les projections concernant l'aptitude à la polyculture indiquent un déclin, surtout en vertu du scénario d'émissions élevées, ce qui limitera la capacité de diversification ou le transfert de cultures dans le contexte du changement climatique.

En raison de l'importance du bétail pour l'économie nigérienne et sa sécurité alimentaire et nutritionnelle, les impacts climatiques sur la production animale ont également été analysés, en examinant notamment les disponibilités fourragères et le potentiel de pâturage. En vertu des deux scénarios d'émissions, on observe une légère tendance à la baisse des disponibilités fourragères et du potentiel de pâturage dans le sud du pays et une légère tendance à la hausse pour ses zones centrales d'ici à 2050. D'ici à 2090, les projections indiquent une hausse du potentiel de pâturage en vertu du scénario d'émissions élevées pour l'ensemble du pays, avec des effets assez forts projetés pour le centre.

À partir de la projection de ces impacts du changement climatique et des intérêts exprimés par les parties prenantes, nous avons évalué quatre stratégies d'adaptation pour leur mise en œuvre dans les régions où le changement climatique aura des répercussions négatives : l'agroforesterie, la gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS), l'irrigation et la gestion améliorée du fourrage. Ces stratégies d'adaptation ont été évaluées par rapport à leur potentiel d'atténuation des risques, à leur rapport coût-efficacité et à d'autres critères d'évaluation socio-économiques tels que leur capacité de développement et leurs avantages conjoints potentiels. Cette évaluation a été menée selon un cadre multicritère associant des indicateurs d'évaluation d'après un mode biophysique, une analyse économique et des indicateurs d'évaluation souples basés sur une analyse des publications sur le sujet. Un aperçu des résultats est présenté en condensé au tableau 15.

Tableau 15 : Récapitulatif de l'évaluation multicritère de toutes les stratégies d'adaptation.

Stratégies d'adaptation	**Agroforesterie**	**GIFS**	**Irrigation**	**Gestion améliorée du fourrage**
Potentiel d'atténuation des risques	Élevé	Élevé	Moyen	Élevé
Gradient de risque	Indépendance vis-à-vis des risques	Indépendance vis-à-vis des risques	Indépendance vis-à-vis des risques	Indépendance vis-à-vis des risques
Rapport coût-efficacité	Moyen à fort	Élevé	Faible	Moyens à fort
Potentiel de développement	Élevé	Élevé	Moyen	Moyens à fort
Avantages conjoints potentiels	Élevés	Élevés	Moyens	Moyens
Répercussions inadaptées potentielles	Faibles	Faibles	Moyennes à fortes	Moyennes
Obstacles à la mise en œuvre	Moyens	Moyens	Élevés	Moyens
Besoins en matière de soutien institutionnel	Moyens	Moyens à faibles	Moyens	Moyens

Légende des couleurs : rouge = répercussions négatives, jaune = répercussions modérées, vert = répercussions positives.

Ces stratégies d'adaptation ont toutes entraîné des hausses de rendements, même sans projection du changement climatique, ainsi qu'une panoplie d'avantages conjoints qui devraient être pris en considération. L'association de multiples stratégies d'adaptation soigneusement évaluées représente souvent un bon moyen de tirer avantage de plus d'une stratégie.

L'évaluation biophysique des stratégies d'adaptation prévues pour le Niger a montré la possibilité d'une hausse des rendements de sorgho au Niger

pour la période actuelle ainsi que dans les conditions du changement climatique projetées à l'avenir. Dans l'ensemble, la méthode des "tassa", une technique de GIFS, s'est révélée être l'une des stratégies d'adaptation les plus encourageantes, car elle permet d'accroître le plus les rendements de sorgho et fonctionne dans les zones marginales qui devraient être le plus touchées par le changement climatique d'après les projections. Cette stratégie est suivie par la variété améliorée de sorgho pour la gestion fourragère, qui fonctionne aussi dans les régions du nord. L'agroforesterie est la troisième stratégie la plus efficace en matière d'impacts sur les rendements. Toutefois, contrairement aux autres stratégies d'adaptation, elle a des effets plus marqués dans les régions du sud en vertu du scénario d'émissions élevées et à des périodes ultérieures. L'irrigation prend la dernière place pour ce qui est de ses impacts sur les rendements, mais elle s'accompagne tout de même de hausses de rendements considérables sur la plupart des cellules quadrillant le Niger.

Les analyses coûts-avantages montrent que toutes les stratégies d'adaptation présentent des résultats économiques positifs en vertu des deux scénarios d'émissions, mais la période à laquelle le flux de trésorerie des fermiers devient positif est variable. L'agroforesterie, la GIFS et la production de luzerne basée sur des banques de luzerne fourragère irriguée pour la gestion améliorée du fourrage offrent toutes assez rapidement des revenus nets positifs aux fermiers, dans le cas de la GIFS et de la luzerne même dès la deuxième année de l'investissement. Cela s'explique surtout par les coûts d'investissements et de réinvestissements comparativement peu élevés. L'irrigation présente une plus longue période d'amortissement en raison des coûts d'investissements initiaux élevés, et elle n'est donc rentable qu'à long terme pour les fermiers.

Les stratégies d'adaptation peuvent également avoir des répercussions potentielles négatives dont il faut soigneusement tenir compte lorsque l'on souhaite promouvoir leur mise en œuvre. Certaines stratégies d'adaptation nécessitent davantage de soutien institutionnel sous forme de politiques favorables ou d'accès aux marchés que d'autres, mais toutes les stratégies d'adaptation nécessitent au minimum un accompagnement pour le transfert de connaissances et l'accès à l'information.

Il convient de remarquer que les divers avantages issus de la mise en œuvre des stratégies d'adaptation suggérées dépendent finalement de la conception concrète de ces stratégies, qui devrait être adaptée au contexte local et aux besoins des fermiers. Les impacts substantiels des changements climatiques projetés sont non seulement formés par les risques réels, mais aussi par la vulnérabilité et l'exposition des communautés agricoles touchées. Les différentes caractéristiques sociales comme le sexe, l'âge, l'éducation et la santé façonnent considérablement la vulnérabilité des agriculteurs et, de ce fait, leur exposition au changement climatique. La prise en compte de ces caractéristiques est un prérequis important à la mise en œuvre de ces stratégies, afin d'éviter des répercussions inadaptées potentielles et de profiter pleinement du potentiel que représente l'adaptation au changement climatique, au niveau des exploitations, pour renforcer la résilience des communautés agricoles et pastorales.

En outre, il faut souligner que les quatre stratégies d'adaptation suggérées ne sont de caractère ni exclusif ni prescriptif, mais que les mesures d'adaptation (et leur hiérarchisation) dépendent finalement du contexte local qui définit à la fois les conditions socio-économiques et biophysiques.

12.2 Recommandations à l'attention des politiques

À partir des analyses menées dans le cadre de cette étude des risques climatiques et en coopération étroite avec différents acteurs locaux et des spécialistes, diverses recommandations concrètes pour les politiques visant l'adaptation du secteur agricole nigérien ont été identifiées.

12.2.1 Agroforesterie

Dotée de forts potentiels en matière d'atténuation des risques et de développement, l'agroforesterie représente une stratégie d'adaptation prometteuse au Niger. La technique de la régénération naturelle des arbres (RNA) gérée par les agriculteurs, déjà pratiquée dans les régions de Tahoua, de Maradi et de Zinder, est bénéfique aux moyens de subsistance locaux, car elle contribue à la résilience climatique, à la diversification des revenus et à l'amélioration des propriétés des sols, ainsi qu'à une meilleure santé et une meilleure nutrition des femmes et des enfants. Les rendements culturaux peuvent

augmenter de jusqu'à 150%, surtout dans les régions du sud (Maradi, Zinder) où la teneur du sol en carbone organique est comparativement élevée. D'après les projections, au niveau national, les effets de l'agroforesterie sur les rendements devraient augmenter parallèlement au niveau des émissions de GES et au fil du temps. La mise en œuvre des systèmes agroforestiers peut donc être recommandée dans tout le Niger en raison de leurs avantages socio-économiques et environnementaux divers. L'analyse économique a montré que l'alternance de la culture du millet et du niébé associée à l'agroforesterie représente un investissement rentable pour les agriculteurs locaux et offre un retour positif sur les investissements au bout de cinq ans. Mais ce délai risque de freiner la mise en œuvre de la stratégie si les agriculteurs ne disposent pas des moyens financiers pour attendre d'obtenir les revenus de leurs investissements.

À partir de ces résultats, les recommandations spécifiques suivantes pour le Niger peuvent être fournies :

- La mise en œuvre des systèmes agroforestiers peut donc être recommandée dans tout le Niger en raison de leurs avantages socio-économiques et environnementaux divers.
- Les investissements et les politiques liés à l'initiative de la "Grande Muraille verte" pourraient être mis à profit pour encourager davantage les pratiques de la RNA.
- Les femmes devraient être impliquées dans l'instauration des systèmes agroforestiers, car ceux-ci ont des répercussions positives sur leur santé, sur leur charge de travail et leur situation économique.
- Les espèces d'arbres et leur densité devraient être soigneusement sélectionnées, et l'agroforesterie planifiée en fonction du contexte local, en tenant compte des rivalités éventuelles sur l'utilisation des terres.
- L'accès aux jeunes plants d'arbres, à l'équipement nécessaire aux travaux de plantation et aux ressources financières devrait être garanti aux petits exploitants locaux.
- Les politiques foncières devraient être réformées par le biais d'un soutien institutionnel renforcé.
- Pour sensibiliser davantage à la RNA, des informations destinées à différents groupes cibles peuvent être diffusées via des programmes radio sur l'agriculture et la mise en place de marchés dédiés à la vente du bois dans les zones rurales.

12.2.2 Irrigation

L'irrigation présente un fort potentiel d'atténuation des risques mais constitue une stratégie d'adaptation complexe au Niger. Elle permet certes aux petits exploitants de compenser les impacts négatifs des précipitations irrégulières et insuffisantes et de stabiliser considérablement la production agricole. En revanche, les ressources en eau sont très limitées au Niger, et l'irrigation nécessite un investissement important et ne devient rentable qu'à moyen ou à long terme, en fonction du type de système d'irrigation et de l'emplacement de l'exploitation. Un soutien institutionnel constant est donc généralement nécessaire, et il faut veiller à prendre des mesures pour éviter les éventuelles répercussions inadaptées issues de l'irrigation.

Les recommandations spécifiques relatives à l'irrigation au Niger sont les suivantes :

- Des options d'irrigation à bas coûts associées à des besoins d'entretien limités peuvent être encouragées dans tout le Niger où des ressources en eau (eaux de surface par ex.) sont disponibles.
- Il est essentiel de sensibiliser les usagers sur une gestion de l'irrigation plus économe en eau, afin d'assurer une utilisation responsable à long terme des ressources naturelles.
- L'irrigation ne devrait être recommandée qu'en tant que stratégie d'adaptation à long terme en raison des investissements élevés requis, et en fonction de la disponibilité en eau au niveau local et des pratiques agricoles traditionnelles.
- Dans l'idéal, des équipements permettant une économie d'eau comme l'irrigation goutte-à-goutte, les systèmes d'irrigation intelligents ou tout autre système d'irrigation innovant adapté aux cultures spécifiques devraient être encouragés par les services de vulgarisation afin d'inciter les agriculteurs à utiliser des techniques durables et respectueuses de l'environnement.
- La fourniture de services de soutien est nécessaire pour renforcer la capacité des agriculteurs à utiliser les technologies et à veiller à leur maintenance.
- Pour développer l'irrigation, tous les intérêts des utilisateurs concernant l'eau et l'énergie devraient être attentivement pris en compte. Des mécanismes de règlement des litiges

pourraient être mis en œuvre pour résoudre les conflits potentiels entre utilisateurs en amont et en aval.

- Le développement de mécanismes financiers, comme l'accès aux prêts ou aux crédits, peut soutenir l'accessibilité aux équipements d'irrigation.

12.2.3 Gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS)

La mise en œuvre de la GIFS est une stratégie d'adaptation au changement climatique prometteuse qui permet d'améliorer la santé des sols, d'accroître l'efficacité de l'utilisation de l'eau, d'empêcher l'érosion et de restaurer les terres dégradées. En outre, la GIFS présente un potentiel considérable au niveau économique et en matière de sécurité alimentaire, les modèles prévoyant notamment que la technique des tassa pourrait entraîner des hausses de rendements de sorgho pouvant atteindre +1 500% en vertu des deux scénarios d'émissions. Le scénario d'émissions élevées présente de bien meilleurs résultats en raison de l'inclusion des effets additionnels du changement climatique sur les rendements. Afin de promouvoir la GIFS en tant que stratégie d'adaptation et de tirer profit de ses divers avantages conjoints, les recommandations suivantes à l'attention des politiques peuvent être considérées pour le Niger :

- Des formations et des campagnes d'autonomisation sont essentielles à la diffusion de la GIFS. Sachant que la GIFS repose sur une approche issue des pratiques locales, sa promotion devrait être fondée sur les connaissances existantes et tirer profit de celles-ci.
- Sensibiliser les personnes sur les avantages de la GIFS, notamment sur ses avantages socio-économiques et environnementaux à long terme par le biais de formations ou de journées d'informations, permettrait de promouvoir l'adoption de cette stratégie d'adaptation.
- Pour bénéficier pleinement des hausses de rendements entraînées par la GIFS, des coopératives agricoles (systèmes de "warrantage") sont un bon moyen d'organisation pour les fermiers, car elles leur permettent de garantir la stabilité des prix des produits agricoles.
- Des politiques encourageant les programmes de crédits, de prêts ou de subventions soutenant la production d'intrants biologiques pourraient remédier au problème du manque d'accès aux équipements et aux intrants.
- Les politiques visant l'utilisation durable et la réhabilitation des sols dégradés ainsi que les mécanismes nécessaires pour les mettre en œuvre et les évaluer pourraient encourager l'adoption de la GIFS.

12.2.4 Gestion améliorée du fourrage

Associée à la présentation des options des variétés améliorées pour la production de sorgho, de la production de luzerne irriguée et du fauchage, la gestion améliorée du fourrage présente un fort potentiel d'atténuation des risques ainsi que diverses répercussions positives. Assorti au stockage, le fauchage offre bien une possibilité d'accroître les disponibilités fourragères pendant la saison sèche. En outre, la production irriguée de luzerne est une stratégie au rapport avantages-coûts excellent qui devient rentable dès la deuxième année seulement. Toutefois, toutes ces technologies doivent être utilisées avec soin et nécessitent une planification rigoureuse ainsi qu'un soutien institutionnel pour la réussite de leur mise en œuvre.

Les recommandations spécifiques suivantes concernant le Niger peuvent être définies ainsi :

- Le choix des variétés adaptées et de la rotation des cultures ainsi que le nombre de coupes (en ce qui concerne la stratégie d'adaptation du fauchage) dépendent des conditions locales et jouent un rôle important pour la réussite d'une production fourragère durable.
- Toutes les recommandations fournies concernant les techniques d'économie d'eau et les démarches de sensibilisation devraient être prises en compte pour assurer la protection des rares ressources en eau au Niger et encourager la mise en œuvre de la gestion

de l'irrigation pour la production fourragère seulement lorsque les ressources en eau sont suffisamment disponibles.
- La fourniture aux municipalités et aux coopératives agricoles d'équipement innovants et peu coûteux, nécessitant un faible entretien au niveau du stockage et de la production de fourrage, permettrait de remédier au problème de l'emballage et du transport des cultures fourragères.
- Des parcelles pilotes de taille suffisante supervisées, par exemple, par les autorités locales motiveraient les agriculteurs à accepter des variétés améliorées ou de nouvelles techniques de gestion comme la production agricole irriguée.
- L'autonomisation des femmes par un travail de sensibilisation au-delà des sexospécificités permet d'attirer l'attention sur la participation des femmes aux prises de décision, ce qui favorise en retour une gestion fourragère plus durable.
- Il convient également de mettre en lumière la valeur des races primitives locales, car elles sont un pilier important de préservation des traditions locales, des pratiques agronomiques et des savoirs qui les accompagnent. La préservation des semences et des pratiques pourrait être institutionnalisée par des projets de conservation in situ, des banques de semences locales, des corporations de banques de gènes nationales ou internationales, et des salons pour la diversité.
- Une communication et une interaction de meilleure qualité entre acteurs du secteur des semences permettraient d'améliorer la diffusion des semences et des savoirs au niveau local, régional et national.

12.2.5 Recommandations générales

Outre les recommandations spécifiques relatives aux quatre stratégies d'adaptation présentées, quelques recommandations générales sur l'adaptation au Niger peuvent être dégagées de cette analyse :

- Les impacts du changement climatique varient considérablement sur l'ensemble du pays. Compte tenu de l'augmentation et des modifications de l'aptitude culturale dans certaines régions, il est important d'assister les agriculteurs locaux en matière de savoir et de les sensibiliser à la possibilité de faire pousser des cultures auparavant inadaptées. Des politiques participatives, spécifiques au contexte et une planification des investissements sont nécessaires afin d'étendre la production agricole vers ces régions.
- Les effets des stratégies d'adaptation peuvent différer en fonction de la culture concernée et de la région. La planification de l'adaptation devrait donc être conçue sur mesure et principalement centrée sur les régions où les projections annoncent une baisse de l'aptitude.
- Une meilleure gestion des sols et de l'eau devrait être prioritaire dans la planification du développement agricole, intégrée dans toutes les activités d'adaptation et envisagée dès que possible.
- Dans tout le Niger, divers systèmes de savoirs autochtones précieux et traditionnels devraient être exploités pour réussir l'adaptation. Toutefois, comme la littérature scientifique sur ces systèmes de connaissances reste rare, davantage de recherches sont requises pour réactiver et maîtriser les stratégies d'adaptation indigènes qui n'ont reçu que peu d'attention par le passé.
- Des mesures incitatives à l'adaptation sont essentielles pour induire l'adoption de stratégies d'adaptation adéquates. De telles structures incitatives reposent notamment sur les systèmes fonciers, sur l'accès aux crédits et aux marchés.
- En général, les quatre stratégies d'adaptation contribuent directement à la réalisation des objectifs de l'initiative "Grande Muraille verte" et peuvent donc attirer des financements et des programmes supplémentaires.
- Il est important d'assurer l'accès des petits exploitants aux marchés afin qu'ils puissent vendre les excédents éventuels de leurs récoltes suite à la mise en œuvre des stratégies d'adaptation. Aussi, comme un transfert vers les stratégies d'adaptation suggérées nécessite des investissements, les fermiers ont besoin d'aide financière sous forme de subventions, de micro-crédits ou de prêts. Ces mesures devraient être accompagnées de formations et de services de vulgarisation, à long terme d'ailleurs, afin d'assurer une mise en œuvre en continu.
- Les mesures d'adaptation peuvent aider à lutter contre l'instabilité, les conflits et le terrorisme, qui sont des problèmes souvent multipliés par le changement climatique. Néanmoins, il est nécessaire d'approfondir les

recherches sur l'interaction complexe entre les impacts du changement climatique et les questions de sécurité et de migration, en particulier entre les éleveurs et les agriculteurs.
- La conception des mesures d'adaptation devrait être inclusive. Tous les groupes communautaires, quelles que soient les couches de revenus, y compris les femmes et les groupes marginalisés, devraient être impliqués à tous les stades de planification et de mise en œuvre, par exemple dans le cadre de discussions réunissant la communauté. Des données ventilées selon le sexe et des approches sexospécifiques permettent de concevoir des stratégies d'adaptation sensibles au genre et, à terme, de soutenir l'autonomisation des femmes.

12.2.6 Programmes disponibles

Afin de mettre en œuvre les stratégies d'adaptation, il est urgent de fournir des ressources financières et matérielles et ainsi de renforcer les capacités des parties prenantes. Lors de l'atelier des parties prenantes en décembre 2021, plusieurs stratégies et programmes nationaux ont été identifiés dans lesquels les quatre mesures d'adaptation pourraient être incluses.

- Plan de Développement Économique et Social (PDES 2022-2026) (RNA, GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- Stratégie de Développement Durable et de Croissance Inclusive (SDDCI 2035) (RNA, GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- La Stratégie et le Plan National d'Adaptation de l'Agriculture face aux changements climatiques (SPN2A 2020-2035) (RNA, GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- Stratégie de l'initiative 3N (2021-2025) (RNA, GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- Plan National de l'Environnement pour un Développement Durable (PNEDD) (RNA, GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- Contribution Déterminée au niveau National (CDN) (RNA, GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- La Grande Muraille Verte du Niger (RNA, GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- Cadre stratégique de la gestion durable des terres au Niger et son plan d'investissement (GDT) (2015 – 2029) (RNA, GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- La Stratégie de la Petite Irrigation au Niger (SPIN) (RNA, GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- Le Projet Intégré de Modernisation de l'Agriculture et de l'Elevage pour la Transformation du monde rural (PIMELAN) (GIFS, irrigation, gestion améliorée des fourrages)
- Politique foncière rurale du Niger - Plan d'action (2021-2027) (RNA, GIFS, irrigation)
- Le Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PANGIRE) (Irrigation)
- Le Programme Sectoriel Eau Hygiène et Assainissement (PROSEHA 2016-2030) (Irrigation)
- Stratégie Nationale de Développement de l'Irrigation et de la Collecte des Eaux de Ruissellement (SNDI/CER) (Irrigation)
- Projet d'Appui Régional à l'Initiative pour l'Irrigation au Sahel (PARIIS) (2013-2024) (Irrigation)
- Millennium Challenge Account (MCA) (Irrigation)
- Programme de la Petite Irrigation et Sécurité Alimentaire (Pisa) (Irrigation)
- Programme de la Plateforme Intégrée pour le Sécurité de l'Eau (PISEN) (2021-2028) (Irrigation)
- Stratégie de Développement Durable de l'Élevage (SDDEL-2013-2035) (Gestion améliorée des fourrages)
- L'Association pour la Redynamisation de le L'Elevage au Niger (AREN) (Gestion fourragère améliorée)
- Programme National d'Amélioration Génétique des Bovins Locaux (PNAG/BL) (Gestion améliorée des fourrages)

Nous nous efforçons de prendre en compte ces programmes dans les stratégies de sensibilisation.



Références

Abernethy, C. L., & Sally, M. H. (2002). Experiences of Some Government-Sponsored Organisations of Irrigators in Niger and Burkin a Faso, West Africa.

Abernethy, C. L., Sally, H., Lonsway, K., Chégou, M. (2000). Farmer-Based Financing of Operations in the Niger Valley Irrigation Scheme.

Acharjee, T. K., Hellegers, P., Ludwig, F., van Halsema, G., Mojid, Md. A., van Scheltinga, C. T. (2020). Prioritization of Adaptation Measures for Improved Agricultural Water Management in Northwest Bangladesh. Climatic Change, 1–20. https://doi.org/10.1007/s10584-020-02852-w

Acquah, H. D.-G. (2011). Farmers' Perception and Adaptation to Climate Change: A Willingness to Pay Analysis. Journal of Sustainable Development in Africa, 13(1), 87–107.

Adam, M., Dzotsi, K.A., Hoogenboom, G., Traoré, P.C.S., Porter, C.H., Rattunde, H.F.W., Nebie, B., Leiser, W.L., Weltzien, E., Jones, J.W. (2018). Modelling varietal differences in response to phosphorus in West African sorghum. Eur. J. Agron. 100, 35–43. https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.04.001

Adger, W. N. (2003). Social Capital, Collective Action, and Adaptation to Climate Change. Economic Geography, 79(4), 387–404.

Adger, W. N., Arnell, N. W., Tompkins, E. L. (2005). Successful Adaptation to Climate Change Across Scales. Global Environmental Change, 15(2), 77–86. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha. 2004.12.005

Adisa, O. (2020). Rural Women's Participation in Solar-Powered Irrigation in Niger: Lessons from Dimitra Clubs. Gender & Development, 28(3), 535–549. https://doi.org/10.1080/13552074.2020.1833483

Ado, A. M., Leshan, J., Savadogo, P., Bo, L., Shah, A. A. (2018). Farmers' awareness and perception of climate change impacts: case study of Aguie district in Niger. Environment, Development and Sustainability. https://doi.org/10.1007/s10668-018-0173-4

Aguilar, L. (2013). A Path to Implementation: Gender-Responsive Climate Change Strategies. In Alston, M. & Whittenbury, K. (Eds.). Research, Action and Policy: Addressing the Gendered Impacts of Climate Change. Springer Dordrecht.

Ahmed, A., Lawson, E. T., Mensah, A., Gordon, C., Padgham, J. (2016). Adaptation to Climate Change or Non-Climatic Stressors in Semi-Arid Regions? Evidence of Gender Differentiation in Three Agrarian Districts of Ghana. Environmental Development. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2016.08.002

Ahmed, E. A., Hamid, F. (2020). Economic and Adoption Impacts of Modern Irrigation Technologies at River Nile State of Sudan: A Case Study Alfalfa Fodder-legume Crop. In Scientific Journal of Agricultural Sciences (22, Vol.2, Issue 2) 240-255

Aker, J. (2018). Are Rainwater Harvesting Techniques Profitable for Small-Scale Farmers? Results from a Pilot Evaluation in Niger. Tufts University.

Akponikpè, P. B. I., Johnston, P., Agbossou, E. K. (2010). Farmers' Perception of Climate Change and Adaptation Strategies in Sub-Saharan West Africa. 2nd International Conference: Climate, Sustainability and Development in Semi-Arid Regions, January, 15.

Akumaga, U., Tarhule, A., Piani, C.,Traore, B., Yusuf, A. A. (2018). Utilizing process-based modeling to assess the impact of climate change on crop yields and adaptation options in the Niger River Basin, West Africa. Agronomy, 8(2), 11–11.

Alston, M. (2013). Introducing Gender and Climate Change: Research, Policy and Action. In M. Alston, M. & Whittenbury, K. (Eds.). Research, Action and Policy: Addressing the Gendered Impacts of Climate Change. Springer Dordrecht.

Amaru, S., & Chhetri, N. B. (2013). Climate Adaptation: Institutional Response to Environmental Constraints, and the Need for Increased Flexibility, Participation and Integration of Approaches. Applied Geography, 39, 128–139. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2012.12.006

Amole, T.A. & Ayantunde, A.A. (2016). Assessment of Existing and Potential Feed Resources for Improving Livestock Productivity in Niger. International Journal of Agricultural Research. 11. 40-55. 10.3923/ijar.2016.40.55.

Arora-Jonsson, S. (2011). Virtue and Vulnerability: Discourses on Women, Gender and Climate Change. Global Environmental Change, 21(2), 744–751. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.005

Aschenbrenner, P. (2018). Climate Model Performance and Projections over West Africa based on ISI-MIP Data (Master's Thesis). May.

Asfaw, S., Di Battista, F., Lipper, L. (2014). Food Security Impact of Agricultural Technology

Adoption under Climate Change: Micro-evidence from Niger (No. 14–12; ESA Working Paper).

Asfaw, S., Di Battista, F., & Lipper, L. (2016). Agricultural technology adoption under climate change in the sahel: Micro-evidence from Niger. Journal of African Economies, 25(5), 637–669. https://doi.org/10.1093/jae/ejw005

Ashley, L. (2020). Climate and livestock policy coherence analysis in Burkina Faso, Niger, Rwanda, Nepal and Cambodia Working Paper No. 311 CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security. https://ccafs.cgiar.org/donors

Assoumana, B. T., Ndiaye, M., Der Puije, G. V., Diourte, M., Gaiser, T. (2016). Comparative Assessment of Local Farmers' Perceptions of Meteorological Events and Adaptations Strategies: Two Case Studies in Niger Republic. Journal of Sustainable Development, 9(3), 118–118. https://doi.org/10.5539/jsd.v9n3p118

Aubert, R. J., Ambo, L. D., Antoreggi, N. C., Ochand, J. C. (2010). The Exclusion of Smallholders from Irrigation Projects and Policies in Southern Niger. In J. Affolderbach, T. Du Bry, O. L. Gonzalez, C. Parra (Eds.), Reinforcing Governance (pp. 123–138). Peter Lang.

Ayantunde A., Yameogo V., Traore R., Kansaye O., Kpoda C., Saley M., Descheemaeker K., Barron J. (2017). Amélioration de la production fourragère de bétail grâce à une plus grande inclusion des femmes et des jeunes.

Ayantunde, A.A., Hiernaux, P., Briejer, M., Udo, H.M.J., Tabo, R. (2009): Uses of local plant species by agropastoralists in South-Western Niger. Ethnobot. Res. Applic., 7: 53-66.

Backiny-Yetna, P., & McGee, K. (2015). Gender Differentials and Agricultural Productivity in Niger (No. 7199; Policy Research Working Paper).

Bado, B. V., Whitbread, A., Laminou, M., Manzo, S. (2021). Agriculture, Ecosystems and Environment Improving agricultural productivity using agroforestry systems: Performance of millet, cowpea, and ziziphus-based cropping systems in West Africa Sahel. 305. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107175

Bado, B. V., Whitbread, A., Sanoussi Manzo, M. L. (2021). Improving agricultural productivity using agroforestry systems: Performance of millet, cowpea, and ziziphus-based cropping systems in West Africa Sahel. Agriculture, Ecosystems & Environment, 305, 107175. https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107175

Baidu-Forson, J. (1999). Factors influencing adoption of land-enhancing technology in the Sahel: Lessons from a case study in Niger. Agricultural Economics, 20, 231–239.

Baragé, M., Moussa, B., Comby, J. (2018). Climate Change Perception and Adaptation Strategy Associated With Farming Techniques in Tamou District Western Niger Farmers. African Journal of Agricultural Research, 13(30), 1496–1507. https://doi.org/10.5897/ajar2018.13249

Baron, C., Bonnassieux, A., Maiga, I. M., Nguyen, G. (2010). Gouvernance hybride et viabilité des grands périmètres irrigués au Niger. Mondes En Développement, 3(151), 51–66.

Basson, F., Dayamba, D. S., Korahire, J., Dipama, J. M., Zougmore, F., Neya, T. (2020). Institutional Barriers to Climate Change Adaptation in Burkina Faso: How Could We Go Around Them? Journal of Sustainable Development, 13(5), 67. https://doi.org/10.5539/jsd.v13n5p67

Bayala, J., Sanou, J., Bazié, H. R., Coe, R., Kalinganire, A., Sinclair, F. L. (2020). Regenerated trees in farmers' fields increase soil carbon across the Sahel. Agroforestry Systems, 94(2), 401-415.

Beck J. (2013). Predicting climate change effects on agriculture from ecological niche modeling: who profits, who loses? Climatic change. 2013;116(2):177-89.

Bee, B., Biermann, M., Tschakert, P. (2013). Gender, Development and Rights-Based Approaches: Lessons for Climate Change Adaptation and Adaptive Social Protection. In Alston, M. & Whittenbury, K. (Eds.). Research, Action and Policy: Addressing the Gendered Impacts of Climate Change. Springer Dordrecht.

Belcore, E., Pezzoli, A., & Calvo, A. (2020). Analysis of Gender Vulnerability to Climate-Related Hazards in a Rural Area in Ethiopia. The Geographical Journal, 186, 156–170.

Benjaminsen, T. A., Ba, B. (2019). Why Do Pastoralists in Mali Join Jihadist Groups? A Political Ecological Explanation. Journal of Peasant Studies. 46(1): 1–20.

Biermann, F., Betsill, M. M., Gupta, J., Kanie, N., Lebel, L., Liverman, D., Schroeder, H., Siebenhüner, B., Zondervan, R. (2010). Earth System Governance: A Research Framework. International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics, 10(4), 277–298. https://doi.org/10.1007/s10784-010-9137-3

Biesbroek, G. R., Klostermann, J. E. M., Termeer, C. J. A. M., Kabat, P. (2013). On the Nature of Barriers to Climate Change Adaptation. Regional Environmental Change, 13(5), 1119–1129. https://doi.org/10.1007/s10113-013-0421-y

Binam, J. N., Place, F., Djalal, A. A., Kalinganire, A. (2017). Effects of local institutions on the adoption of agroforestry innovations: evidence of farmer managed natural regeneration and its implications for rural livelihoods in the Sahel. Agricultural and Food Economics, 5(1), 1-28.

Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., Weimer, D. (2011). Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practice, 4th edition.

Boelee, E., Cecchi, P., & Koné, A. (2009). Health Impacts of Small Reservoirs in Burkina Faso (No. 136; IMWI Working Paper Series).

Boffa, J.-M. (1999). Agroforestry parklands in sub-Saharan Africa (FAO Conser). Food Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. http://www.fao.org/3/x3940e/X3940E00.htm#TOC

Brockhaus, M., Djoudi, H., Kambire, H. (2012). Multi-Level Governance and Adaptive Capacity in West Africa. International Journal of the Commons, 6(2), 200–232.

Bron-Saïdatou, F., & Yankori, S. S. (2016). L'accès des femmes et des jeunes au foncier. Réseau National Des Chambres d'Agriculture Du Niger, 5 January 2016.

Bryan, E., Bernier, Q., Espinal, M., Ringler, C. (2018). Making Climate Change Adaptation Programmes in Sub-Saharan Africa More Gender Responsive: Insights From Implementing Organizations on the Barriers and Opportunities. Climate and Development, 10(5), 417–431. https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1301870

Butterfield, J., Bingham, S., Savory, A. (2006). Holistic Management Handbook. Healthy Land, Healthy Profits (p. 249). Island Press.

Carr, E. R., & Thompson, M. C. (2014). Gender and Climate Change Adaptation in Agrarian Settings: Current Thinking, New Directions, and Research Frontiers. Geography Compass, 8(3), 182–197. https://doi.org/10.1111/gec3.12121

Carvalho, M., Castro, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Egea-Cortines, M., Matos, M., Carnide, E.R.V., Lino-Neto, T. (2019). Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. Journal of Plant Physiology 241 (2019): 153001.

Catholic Relief Services (2020). Steps Toward Peace. A conflict assessment of the Liptako-Gourma zone Burkina Faso, Mali and Niger. Baltimore/Ouagadougou

Challinor, A., Wheeler, T., Garforth, C., Craufurd, P., Kassam, A. (2007). Assessing the vulnerability of food crop systems in Africa to climate change. Climatic Change, 83(3), 381–399.

Chauvin, F., Roehrig, R., Lafore, J. P. (2010). Intraseasonal variability of the saharan heat low and its link with midlatitudes. Journal of Climate. https://doi.org/10.1175/2010JCLI3093.1

Chemura, A., Schauberger, B., Gornott, C. (2020). Impacts of climate change on agro-climatic suitability of major food crops in Ghana. PLoS ONE, 15(6). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229881

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 13-17-Augu, 785–794. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

Choudhary, S., Guha, A., Kholova, J., Anand, P., Messina, C. D., Cooper, M., & Vadez, V. (2019). Maize, sorghum, and pearl millet have highly contrasting species strategies to adapt to water stress and climate change-like conditions. Plant Science, 110297. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.11

CNEDD (Conseil National de l'Environnement pour un Développement Durable). (2011). Impacts des changements climatiques sur le sous-secteur de l'elevage au Niger.

Cochand, J. (2007). La petite irrigation privée dans le sud Niger: Potentiels et contraintes d'une dynamique locale.

Constable, P. D., Blood, D. C., Radostits, O. M. (Ed.) (2017): Veterinary medicine: A textbook of the diseases of cattle, horses, sheep, pigs, and goats. 11th edition. St. Louis Missouri: Elsevier.

Conway, D., Persechino, A., Ardoin-Bardin, S., Hamandawana, H., Dieulin, C., Mahé, G. (2009). Rainfall and Water Resources Variability in Sub-Saharan Africa during the Twentieth Century. Journal of Hydrometeorology, 10(1), 41–59. https://doi.org/10.1175/2008JHM1004.1

Cucchi, M., Weedon, G. P., Amici, A., Bellouin, N., Lange, S., Muller Schmied, H., Hersbach, H., Buontempo, C. (2020). WFDE5: Bias adjusted ERA5 reanalysis data for impact studies.

Dambo, L. (2007). Usages de l'eau à Gaya (Niger): Entre fortes potentialités et contraintes majeures.

Daniel C. Miller, Juan Carlos Muñoz-Mora, A. Z., Durazo, J. (2019). Trees on Farms: Measuring Their Contribution to Household Welfare—A Guidebook for Designing Household Surveys (LSMS Guide, Issue September). The World Bank.

Davin, E. L., & de Noblet-Ducoudre, N. (2010). Climatic impact of global-scale Deforestation: Radiative versus nonradiative processes. Journal of Climate. https://doi.org/10.1175/2009JCLI3102.1

De Fraiture, C., Ndanga, G., Sally, H., Kabre, P. (2014). Pirates or Pioneers? Unplanned irrigation Around Small Reservoirs in Burkina Faso. Agricultural Water Management, 131, 212–220. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.07.001

Defrance, D., Ramstein, G., Charbit, S., Vrac, M., Famien, A. M., Sultan, B., Swingedouw, D., Dumas, C., Gemenne, F., Alvarez-Solas, J., Vanderlinden, J. P. (2017). Consequences of rapid ice sheet melting on the Sahelian population vulnerability. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 114(25), 6533–6538. https://doi.org/10.1073/pnas.1619358114

Descroix, L., Genthon, P., Amogu, O., Rajot, J.-L., Sighomnou, D., Vauclin, M. (2012). Change in Sahelian Rivers hydrograph: The case of recent red floods of the Niger River in the Niamey region. Global and Planetary Change, 98–99, 18–30. https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.07.009

Descroix, L., Mahé, G., Lebel, T., Favreau, G., Galle, S., Gautier, E., Olivry, J.-C., Albergel, J., Amogu, O., Cappelaere, B., Dessouassi, R., Diedhiou, A., Le Breton, E., Mamadou, I., Sighomnou, D. (2009). Spatio-temporal variability of hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa: A synthesis. Journal of Hydrology, 375(1), 90–102. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.12.012

Diarra, M., & Monimart, M. (2006). Landless Women, Hopeless Women? Gender, Land and Decentralisation in Niger (No. 143; Issue Paper Series).

Dickin, S., Segnestam, L., Sou Dakouré, M. (2020). Women's vulnerability to climate-related risks to household water security in Centre-East, Burkina Faso. Climate and Development, 0(0), 1–11. https://doi.org/10.1080/17565529.2020.1790335

Dinesh D., Campbell, B., Bonilla-Findji, O., Richards, M. (eds). (2017). 10 best bet innovations for adaptation in agriculture: A supplement to the UNFCCC NAP Technical Guidelines. CCAFS Working Paper no. 215. Wageningen, The Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/89192/CCAFSWP215.pdf?sequence=3&isAllowed=y.

Di Prima, S., Hassane, A., & Reij, C. (2012). Niger—Small-scale and simple for sustainability. In Water Harvesting in Sub-Saharan Africa. Routledge.

Djaman, K., Smeal, D., Koudahe, K., Allen, S. (2020). Hay Yield and Water Use Efficiency of Alfalfa under Different Irrigation and Fungicide Regimes in a Semiarid Climate. Water. 12(6): 1721. https://doi.org/10.3390/w12061721

Djibo, E. S., Sitou, L., Aichatou, A., Bil-assanou, I. H., Abdou, M., Zoubeirou, A. M. (2016). Local Perceptions of Climate Change and Adaptation Strategies in the Management of Acacia Senegal Parks in Niger. Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES), 9(1), 319–328.

Djibo, O., & Malam Maman, N. (2019). Determinants of Agricultural Technology Adoption: Farm Households Evidence From Niger. Journal of Development and Agricultural Economics, 11(1), 15–23. https://doi.org/10.5897/jdae2018.0998

Drobinski, P., Bastin, S., Janicot, S., Bock, O., Dabas, A., Delville, P., Reitebuch, O., Sultan, B. (2009). On the late northward propagation of the West African monsoon in summer 2006 in the region of Niger/Mali. Journal of Geophysical Research, 114(D9). https://doi.org/10.1029/2008jd011159

ECVMA (2011). National Survey on Household Living Conditions and Agriculture (ECVMA). Ref. NER_2011_ECVMA_v01_M.

Egbebiy, T.S., Crespo, O., Lennard, C., Zaroug, M., Nikulin, G., Harris, I., Price, J., Forstenhäusler, N., Warren, R. (2020). Investigating the potential impact of 1.5, 2 and 3 °C global warming levels on crop suitability and planting season over West Africa. PeerJ 8:e8851 https://doi.org/10.7717/peerj.8851

Eguavoen, I., & Wahren, J. (2015). Climate Change Adaptation in Burkina Faso: Aid Dependency and Obstacles to Political Participation. ZEF Working Paper Series, 140, 1–31.

Ehrnrooth, A., Dambo, L., Jaubert, R. (2011). Projets et programmes de développement de l'irrigation au Niger (1960-2010): Eléments pour un bilan.

Ekine-Dzivenu, C. C., Mrode, R. A., Ojango, J. M. K., Okeyo Mwai, A. (2019). Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature- humidity index (THI) on test-day milk yield of dairy cattle in Tanzania. Paper Presented at the Seventh All Africa Conference on Animal Agriculture, Accra, Ghana, 29 July-2 August 2019.

Enahoro, D., Mason-D'Croz, D., Mul, M., Rich, K. M., Robinson, T. P., Thornton, P., Staal, S. S. (2019). Supporting sustainable expansion of livestock production in South Asia and Sub-Saharan Africa: Scenario analysis of investment options. Global Food Security, 20, 114–121. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.01.001

Engle, N. L. (2011). Adaptive Capacity and Its Assessment. Global Environmental Change, 21(2), 647–656. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.019

Equipe technique du Projet d'Appui au Développement Agricole de l'Irhazer, du Tamesna et de l'Aïr (PADA/ITA) et Chambre Régionale d'Agriculture d'Agadez (2016) Note sur la botteleuse manuelle pour la culture fourragère de luzerne. 2P.

Evangelista, P., Young, N., & Burnett, J. (2013). How will climate change spatially affect agriculture production in Ethiopia? Case studies of important cereal crops. Climatic Change, 119 (3–4), 855–873. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0776-6

Evans, A. E. V., Giordano, M., Clayton, T. (2012). Investing in Agricultural Water Management to Benefit Smallholder Farmers in Burkina Faso. In IWMI Working Papers (No. 149; IMWI Working Papers, Vol. 149). https://doi.org/10.5337/2012.211

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G. A., Senior, C. A., Stevens, B., Stouffer, R. J., Taylor, K. E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental

design and organization. Geoscientific Model Development. https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016

FAO. (2001). Irrigation Manual: Planning, Development, Monitoring and Evaluation of Irrigated Agriculture with Farmer Participation.

FAO. (2011). The State of Food and Agriculture 2010–2011: Women in Agriculture, Closing the Gender Gap for Development. https://doi.org/10.1007/978-3-030-44988-9_8

FAO. (2014) Crop Residues and Agro-Industrial by-Products in West Africa: Situation and Way Forward for Livestock Production. Rome, Italy.

FAO. (2015a) Agroforestry. http://www.fao.org/forestry/agroforestry/80338/en/ (Accessed: 18 January 2021).

FAO. (2015b). Coping with Climate Change—The Roles of Genetic Resources for Food and Agriculture (No. 9789251084410).

FAO (2017). Irrigation and Drainage Development in Niger. AQUASTAT Database. http://www.fao.org/aquastat/statistics/query/results.html

FAO. (2018). Cost-benefit analysis for climate change adaptation policies and investments in the agriculture sectors.

FAO. (2019a) Land & Water, Databases & Software, Alfalfa, Rome. http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/alfalfa/en , retrieved online on 03/02/2020

FAO. (2019b). The future of livestock in Nigeria. Opportunities and challenges in the face of uncertainty. Rome. https://www.fao.org/3/ca5464en/ca5464en.pdf

FAO. (2020) Hay-making for smallholders. Rome, Italy.

FAO. (2021). FAOSTAT Crops. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

FAO. (2021): Alfalfa. https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/alfalfa/en/

FAOSTAT. (2017). Agricultural Area in Niger. http://www.fao.org/faostat/en/#country/158

FAOSTAT. (2019a). Live Animal in Niger. Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA

FAOSTAT. (2019b). Production of Cattle in Niger. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QA/visualize

FAOSTAT. (2021a). FAOSTAT - Crops. http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC

FAOSTAT. (2021b). FAOSTAT - Marco Indicators. http://www.fao.org/faostat/en/#data/MK

Fatondji, D., Bationo, A., Tabo, R., Jones, J.W., Adamou, A., Hassane, O. (2012). Water use and yield of millet under the zai system: understanding the processes using simulation. In: Improving Soil Fertility Recommendations in Africa using the Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT). Springer Netherlands. 77-100.

Fatondji, D., Martius, C., Bielders, C. L., Vlek, P. L. G., Bationo, A., Gerard, B. (2007). Effect of planting technique and amendment type on pearl millet yield, nutrient uptake, and water use on degraded land in Niger. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 76(2–3), 203–217. https://doi.org/10.1007/s10705-005-6209-9

Fatondji, D., Martius, C., Bielders, C.L., Vlek, P.L.G., Bationo, A., Gerard, B. (2006). Effect of planting technique and amendment type on pearl millet yield, nutrient uptake, and water use on degraded land in Niger. Nutr. Cycl. Agroecosystems 76, 203–217.

Fatondji, D., Martius, C., Vlek, P. L. G., Bielders, C., Bationo, A. (2011). Effect of Zai Soil and Water Conservation Technique on Water Balance and the Fate of Nitrate from Organic Amendments Applied: A Case of Degraded Crusted Soils in Niger. In Innovations as Key to the Green Revolution in Africa (Vol. 1–January 2011). https://doi.org/10.1007/978-90-481-2543-2

Faye, B., Webber, H., Naab, J.B., MacCarthy, D.S., Adam, M., Ewert, F., Lamers, J.P.A., Schleussner, C.F., Ruane, A., Gessner, U., Hoogenboom, G., Boote, K., Shelia, V., Saeed, F., Wisser, D., Hadir, S., Laux, P., Gaiser, T. (2018). Impacts of 1.5 versus 2.0 °c on cereal yields in the West African Sudan Savanna. Environ. Res. Lett. 13. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaab40

FEWS NET (Famine Early Warning Systems Network). (2020). BURKINA FASO Price Bulletin. USAID. https://fews.net/sites/default/files/documents/reports/Burkina_Faso_2020_05_PB_EN.pdf

Figueiredo, P., & Perkins, P. E. (2013). Women and Water Management in Times of Climate Change: Participatory and Inclusive Processes. Journal of Cleaner Production, 60, 188–194. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.02.025

Fox, P., & Rockström, J. (2003). Supplemental irrigation for dry-spell mitigation of rainfed agriculture in the Sahel. Agricultural Water Management, 61(1), 39–50. https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00008-8

Fox, P., Rockström, J., Barron, J. (2005). Risk analysis and economic viability of water harvesting for supplemental irrigation in semi-arid Burkina Faso and Kenya. Agricultural Systems, 83(3), 231–250. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.04.002

Francis, R., Weston, P., Birch, J. (2015). The social, environmental and economic benefits of Farmer Managed Natural Regeneration (FMNR). World Vision International.

Fritz, A. & Graves, A. (2016) Régénération naturelle assistée au Sahel : Une revue documentaire. Edited by The Mitchell Group Inc. United Stated Agency for International Developmed (USAID).

Garrity, D. P., Bayala, J. (2019). Zinder: farmer-managed natural regeneration of Sahelian park-

lands in Niger. In van Noordwijk, M. (ed.). Sustainable development through trees on farms. Bogor, Indonesia: World Agroforestry (ICRAF). 153–174.

GeoProgress Journal. (2016). "Food and Environment". GEOPROGRESS EDITIONS NOVARA. 3(2). http://www.geoprogress.eu/wp-content/uploads/2017/10/GPJ-2016-Vol-3-II.pdf

Gerland, P., Raftery, A. E., Ševčíková, H., Li, N., Gu, D., Spoorenberg, T., Alkema, L., Fosdick, B. K., Chunn, J., & Lalic, N. (2014). World population stabilization unlikely this century. Science, 346(6206), 234–237.

Giannini, A., & Kaplan, A. (2019). The role of aerosols and greenhouse gases in Sahel drought and recovery. Climatic Change. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2341-9

Global Yied Gap Atlas (n.d.). Niger - Description of cropping systems, climate, and soils in Niger. https://www.yieldgap.org/niger

Goffner, D., Sinare, H., Gordon, L. J. (2019). The Great Green Wall for the Sahara and the Sahel Initiative as an opportunity to enhance resilience in Sahelian landscapes and livelihoods. Regional Environmental Change. Springer Verlag, 19(5), 1417–1428. https://doi.org/10.1007/s10113-019-01481-z

Gornott, C., & Wechsung, F. (2016). Statistical regression models for assessing climate impacts on crop yields: A validation study for winter wheat and silage maize in Germany. Agricultural and Forest Meteorology, 217, 89–100. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.10.005

Goudou, D., Traoré-Gue, J., Ouedraogo, M., Segda, Z., Baye, Y., Mamoudou, H., Boureima, M., Zougmore, R., Moussa, A. (2012). Village Baseline Study: Site Analysis for Kollo—Fakara, Niger.

Haglund, E., Ndjeunga, J., Snook, L., Pasternak, D. (2011). Dry land tree management for improved household livelihoods: Farmer managed natural regeneration in Niger. Journal of Environmental Management, 92, 1696–1705. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.027

Hall, A. E. (2011). Breeding cowpea for future climates. In Yadav, S. S., Redden, R. J., Hatfield, J. L., Lotze-Campen, H., Hall, A. E. (Eds) Crop adaptation to climate change, 340-355, John Wiley & Sons.

Hamadou, S., & Maïga, M. (2016). Irrigation et intensification de la production agricole au Sahel: Perceptions paysannes sur la double riziculture et les variétés de riz utilisées sur les aménagements hydro-agricoles au Niger. Journal of Applied Biosciences, 107, 10439–10449.

Hand, D. J., & Till, R. J. (2001). A Simple Generalisation of the Area Under the ROC Curve for Multiple Class Classification Problems. Machine Learning, 45(2), 171–186. https://doi.org/10.1023/A:1010920819831

Hansen, J. W., Mason, S. J., Sun, L., Tall, A. (2011). Review of seasonal climate forecasting for agriculture in sub-Saharan Africa. In Experimental Agriculture (Vol. 47, Issue 2, p. 240). https://doi.org/10.1017/S0014479710000876

Hassan, A. (1996). Improved traditional planting pits in the Tahoua department, Niger. An example of rapid adoption by farmers.

Hassane, A., & Reij, C. (2020). Post-project impacts of restoring degraded land in Tahoua, Niger. ETFRN.

Hausfather, Z. (2018). Explainer: How "shared socioeconomic pathways" explore future climate change. CarbonBrief. https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2

Hauswirth, D., Yaye, H., Soumaila, A. S., Djariri, B., Lona, I., Abba, M. B. (2020). Identification et évaluation des options d'agriculture intelligente face au climat prioritaires pour l'adaptation face aux changements climatiques au Niger—Volume 1 (Vol. 1, pp. 1–103).

Herzschuh, U., Borkowski, J., Schewe, J., Mischke, S., Tian, F. (2014). Moisture-advection feedback supports strong early-to-mid holocene monsoon climate on the eastern tibetan plateau as inferred from a pollen-based reconstruction. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2014.02.022

Hörner, D., & Wollni, M. (2021). Integrated soil fertility management and household welfare in Ethiopia. Food Policy, 102022. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.102022

Hoogenboom, G., Porter, C. H., Shelia, V., Boote, K. J., Singh, U., White, J. W., Hunt, L. A., Ogoshi, R., Lizaso, J. I., Koo, J., Asseng, S., Singels, A., Moreno, L. P., Jones, J. W. (2017). Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7. USA.

Hopkins, J., Levin, C., Haddad, L. (1994). Women's Income and Household Expenditure Patterns: Gender or Flow? Evidence from Niger. American Journal of Agricultural Economics, 76(5), 1219–1225. https://doi.org/10.2307/1243421

Hovi, J., Sprinz, D. F., & Underdal, A. (2009). Implementing Long-term Climate Policy: Time Inconsistency, Domestic Politics, International Anarchy. Global Environmental Politics, 9(3), 20–39. https://doi.org/10.1162/glep.2009.9.3.20

Human Rights Watch (2018) By Day We Fear the Army, By Night the Jihadists -Abuses by Armed Islamists and Security Forces in Burkina Faso.

Hurtt, G. C., Chini, L., Sahajpal, R., Frolking, S., Bodirsky, B. L., Calvin, K., Doelman, J. C., Fisk, J., Fujimori, S., Klein Goldewijk, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Heinimann, A., Humpenöder, F., Jungclaus, J., Kaplan, J., Kennedy, J., Kristzin, T., Lawrence, D., Lawrence, P., Ma, L., Mertz, O., Pongratz, J., Popp, A., Poulter, A., Riahi, K., Shevliakova, E., Stehfest, E., Thornton, P.,

Tubiello, F.N., van Vuuren, D.P., Zhang, X. (2020). Harmonization of Global Land-Use Change and Management for the Period 850–2100 (LUH2) for CMIP6. Geoscientific Model Development Discussions, in review. https://doi.org/10.5194/gmd-2019-360

Ickowicz, A., Ancey, V., Corniaux, C., Duteurtre, G., Poccard-Chappuis, R., Touré, I., Vall, É., Wane, A., Meybeck, A., Lankoski, J., Redfern, S., Azzu, N., Gitz, V. (2012). Crop–livestock production systems in the Sahel—Increasing resilience for adaptation to climate change and preserving food security. In Undefined.

ICRAF (International Council for Research in Agroforestry). (2020). What is Agroforestry? https://www.worldagroforestry.org/about/agroforestry

ICRISAT (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics). (2021). Ziziphus agroforestry: A yield and income ladder for millet farmers in Niger. https://www.icrisat.org/ziziphus-agroforestry-a-yield-and-income-ladder-for-millet-farmers-in-niger/

IDMC (Internal Displacement Monitoring Centre). (2019). Ils l'appellent l'exode: Rompre le cycle de la migration de détresse au Niger.

IFAD (International Fund for Agricultural Development). (2015). The mitigation advantage: Maximizing the co-benefits of investing in smallholder adaptation initiatives (pp. 27–27).

IFC (International Finance Corporation). (2013). Private Sector Investment to Build Climate Resilience in Niger's Agricultural Sector: Introducing Improved Irrigation Systems and Climate Resilient Seeds.

Illou, M. (2018). Numéro spécial Impact sur les ménages de l'exploitation des ressources naturelles des cuvettes oasiennes du Département de Gouré dans le sud-est Nigérien: Cas du natron. 351–359.

International Crisis Group (2020). Sidelining the Islamic State in Niger's Tillabery. Brussels.

International Labor Organization (2019). Working on a warmer planet: The impact of heat stress on labour productivity and decent work. Geneva.

IOM (International Organization for Migration). (2020). COVID-19, a Risk Multiplier for Future Distress Migration and Displacement? https://environmentalmigration.iom.int/blogs/covid-19-risk-multiplier-future-distress-migration-and-displacement

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. In Climate Change 2014: Synthesis. https://doi.org/10.1256/004316502320517344

Issoufou, A. A., Soumana, I., Maman, G., Konate, S., Mahamane, A. (2020). Dynamic Relationship of Traditional Soil Restoration Practices and Climate Change Adaptation in Semi-Arid Niger. Heliyon, 6(1), 1–7. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03265

Jaubert, R., Dambo, L., Cantoreggi, N., Cochand, J. (2010). The Exclusion of Smallholders from Irrigation Projects and Policies in Southern Niger. 123–138.

Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K. I., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T. (2003). The DSSAT cropping system model. European journal of agronomy 18, no. 3-4 (2003): 235-265.

Jost, C., Kyazze, F., Naab, J., Neelormi, S., Kinyangi, J., Zougmore, R., Aggarwal, P., Bhatta, G., Chaudhury, M., Tapio-Bistrom, M. L., Nelson, S., Kristjanson, P. (2016). Understanding Gender Dimensions of Agriculture and Climate Change in Smallholder Farming Communities. Climate and Development, 8(2), 133–144. https://doi.org/10.1080/17565529.2015.1050978

Kabore-Sawadogo, S., Ouattara, K., Balima, M., Ouédraogo, I., Traoré, S., Savadogo, M., Gowing, J. (2013). Burkina Faso: Cradle of farm-scale technologies. In Water Harvesting in Sub-Saharan Africa.

Kakota, T., Nyariki, D., Mkwambisi, D., Kogi-Makau, W. (2011). Gender Vulnerability to Climate Variability and Household Food Insecurity. Climate and Development, 3(4), 298–309. https://doi.org/10.1080/17565529.2011.627419

Kandji, S. T., Verchot, L., Mackensen, J. (2006). Climate Change and Variability in Southern Africa: Impacts and Adaptation in the Agricultural Sector. ICRAF and UNEP.

Kashongwe, O.B., Bebe, B.O., Matofari, J.W., Huelsebusch, C.G. (2017): Effects of feeding practices on milk yield and composition in peri-urban and rural smallholder dairy cow and pastoral camel herds in Kenya.

Kelley, C.P., Mohtadib, S., Canec, M.A., Seagerc, R., Kushnirc, Y. (2016). Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

Kieran, C., Gray, B., Gash, M. (2012). Understanding Gender Norms in Rural Burkina Faso: A Qualitative Assessment. https://www.grameenfoundation.org/sites/default/files/resources/Understanding_Gender_Norms_Baseline_Qualitative_Assessment_BRB.pdf

Kima, S.A., Okhimamhe, A.A., Kiema, A., Sule, I.S. (2015). Adapting to the impacts of climate change in the sub-humid zone of Burkina Faso, West Africa: Perceptions of agro-pastoralists. Pastoralism Research Policy and Practice. https://doi.org/10.1186/s13570-015-0034-9

Knauer, K., Gessner, U., Fensholt, R., Forkuor, G., Kuenzer, C. (2017). Monitoring agricultural expansion in Burkina Faso over 14 years with 30 m resolution time series: The role of population growth and implications for the environment. Remote Sensing, 9(2). https://doi.org/10.3390/rs9020132

Koffi, G., Worms, P. (2021). Niger formally adopts farmer-managed natural regeneration. https://www.worldagroforestry.org/blog/2021/01/12/niger-formally-adopts-farmer-managed-natural-regeneration

Kosmowski, F., Leblois, A., Sultan, B. (2016). Perceptions of Recent Rainfall Changes in Niger: A Comparison Between Climate-Sensitive and Non-Climate Sensitive Households. Climatic Change, 135(2), 227–241. https://doi.org/10.1007/s10584-015-1562-4

Kothe, S., Lüthi, D., & Ahrens, B. (2014). Analysis of the West African Monsoon system in the regional climate model COSMO-CLM. International Journal of Climatology. https://doi.org/10.1002/joc.3702

Krysanova, V., Hattermann, F., Huang, S., Hesse, C., Vetter, T., Liersch, S., Koch, H., Kundzewicz, Z. W. (2015). Modelling climate and land-use change impacts with SWIM: lessons learnt from multiple applications. Hydrological Sciences Journal, 60(4), 606–635. https://doi.org/10.1080/02626667.2014.925560

Kuyah, S., Whitney, C.W., Jonsson, M., Sileshi, G.W., Öborn, I., Muthuri, C.W., Luedeling, E. (2019). Agroforestry delivers a win-win solution for ecosystem services in sub-Saharan Africa. A meta-analysis. Agron. Sustain. Dev. 39. https://doi.org/10.1007/s13593-019-0589-8

Lange, S. (2016). EartH2Observe, WFDEI and ERA-Interim Data Merged and Bias-Corrected for ISIMIP (EWEMBI). In GFZ Data Services.

Lange, S. (2019a). Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with ISIMIP3BASD (v1.0). Geoscientific Model Development Discussions. https://doi.org/10.5194/gmd-2019-36

Lange, S. (2019b). WFDE5 over land merged with ERA5 over the ocean (W5E5). V. 1.0. GFZ Data Services. https://doi.org/10.5880/pik.2019.023

Lange, S., & Büchner, M. (2021). ISIMIP3b bias-adjusted atmospheric climate input data. ISIMIP Repository. https://doi.org/10.48364/ISIMIP.842396.1

Lange, S., Menz, C., Gleixner, S., Cucchi, M., Weedon, G. P., Amici, A., Bellouin, N., Müller Schmied, H., Hersbach, H., Buontempo, C., Cagnazzo, C. (2021). WFDE5 over land merged with ERA5 over the ocean (W5E5 v2.0). ISIMIP Repository. https://doi.org/10.48364/ISIMIP.342217

Larwanou, M., Abdoulaye, M., Reij, C. (2006). Etude de la régénération naturelle assistée dans la région de Zinder (Niger): Une première exploration d'un phénomène spectaculaire. United States Agency for International Development (USAID/ EGAT). http://www.formad-environnement.org/RNA_Zinder_usaid.pdf.

Larwanou, M., Oumarou, I., Snook, L., Danguimbo, I., Eyog-Matic, O. (2010). Pratiques sylvicoles et culturales dans les pays agroforestiers suivant un gradient pluviométrique nord-sud dans la région de Maradi au Niger. Tropicultura, 28(2), 115–122.

Laux, P., Kunstmann, H., & Bárdossy, A. (2008). Predicting the regional onset of the rainy season in West Africa. International Journal of Climatology, 28(3), 329–342. https://doi.org/10.1002/joc.1542

Lazarus, R. J. (2009). Super Wicked Problems and Climate Change: Restraining the Present to Liberate the Future. Cornell Law Review, 94(5), 1153–1233.

Liersch, S., Drews, M., Pilz, T., Salack, S., Sietz, D., Aich, V., Larsen, M. A. D., Gädeke, A., s, K. H., Thiery, W., Huang, S., Lobanova, A., Koch, H., Hattermann, F. F. (2020). One simulation, different conclusions—The baseline period makes the difference! Environmental Research Letters, 15(10), 104014–104014. https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba3d7

Liniger, H., Studer, R. M., Hauert, C., Gurtner, M., Gämperli, U., Kummer, S., Hergarten, C. (2011). Sustainable Land Management in Practice. Guidelines and Best Practices for Sub-Saharan Africa. 240. FAO.

Ludi, E., Jones, L., & Levine, S. (2012). Changing focus? How to start taking adaptive capacity seriously. ODI Briefing Papers, January, 1–4. http://www.odi.org.uk/resources/details.asp?id=6201&title=adaptive-capacity-climate-change-development-interventions-accra

MAAH/DGESS (Ministry of Agriculture and Hydro-Agricultural Development/ The general direction of studies and sectoral statistics). (2020). Données officielles de l'Enquête Permanente Agricole (EPA) sur le rendement des principales cultures au Burkina Faso sur le période 1990-2019. Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydroagricoles/ Direction Générale des Etudes et des Statistiques Sectorielles. Burkina Faso

Mach, K. J., Kraan, C. M., Adger, W. N., Buhaug, H., Burke, M., Fearon, J. D., Field, C. B., Hendrix, C. S., Maystadt, J-F., O'Loughlin, J., Roessler, P., Scheffran, J., Schultz, K. A., von Uexkull, N. (2019). Climate as a risk factor for armed conflict. Nature 571, 193–197. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1300-6

Mahé, G., & Olivry, J.-C. (1999). Assessment of freshwater yields to the ocean along the intertropical Atlantic coast of Africa (1951–1989). Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science, 328(9), 621–626. https://doi.org/10.1016/S1251-8050(99)80159-1

Mahe, G., Paturel, J.-E., Servat, E., Conway, D., Dezetter, A. (2005). The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina-

Faso. Journal of Hydrology, 300(1), 33–43. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.04.028

Mahé, G. (2006). The impacts of land-use/land-cover change and climate variability on the hydrology of the Sahel. 8–8.

Mahe, G., Lienou, G., Descroix, L., Bamba, F., Paturel, J. E., Laraque, A., Meddi, M., Habaieb, H., Adeaga, O., Dieulin, C., Kotti, F. C., Khomsi, K. (2013). The rivers of Africa: Witness of climate change and human impact on the environment. Hydrological Processes, 27(15), 2105–2114. https://doi.org/10.1002/hyp.9813

Malabo Montpellier Panel. (2018). Water-Wise Smart Irrigation Strategies for Africa: Niger.

Marteau, R., Sultan, B., Moron, V., Alhassane, A., Baron, C., Traoré, S. B. (2011). The onset of the rainy season and farmers' sowing strategy for pearl millet cultivation in Southwest Niger. Agricultural and Forest Meteorology, 151(10), 1356–1369. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.05.018

Martin, N., & van de Giesen, N. (2005). Spatial distribution of groundwater production and development potential in the volta river basin of ghana and burkina faso. Water International, 30(2), 239–249. https://doi.org/10.1080/02508060508691852

Mekonnen, Z., Woldeamanuel, T., Kassa, H. (2019). Socio-ecological vulnerability to climate change/variability in central rift valley, Ethiopia. Advances in Climate Change Research, 10(1), 9–20. https://doi.org/10.1016/j.accre.2019.03.002

Mendelsohn, R., & Seo, S. N. (2007). The impact of climate change on livestock management in Africa: A structural Ricardian analysis. The World Bank. https://doi.org/10.1596/1813-9450-4279

MHA (Ministère de l'Hydraulique et de l'Assainissement). (2017). Plan d'Action National de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (PANGIRE) et du Programme d'Investissement Prioritaire (PIP): Plan D'action National De Gestion Intégrée Des Ressources En Eau (PANGIRE) – Version Definitive.

Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage. (2015). Stratégie de la Petite Irrigation au Niger.

Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage. (2016). Politique Agricole.

Ministère de la Promotion de la Femme et de la Protection de l'Enfant de Niger. (2017). Politique Nationale de Genre. https://doi.org/10.35562/arabesques.462

Ministère du Développement Agricole. (2005). Stratégie Nationale de Développement de l'Irrigation et de la Collecte des Eaux de Ruissellement (SNDI/CER).

Ministère du Plan de Niger. (2017a). Plan de Développement Economique et Social 2017-2021.

Ministère du Plan. (2017b). Stratégie de Développement Durable et de Croissance Inclusive. Niamey: Ministère du Plan.

Ministère de L'environnement, de la Salubrite Urbaine et du Developpement Durable. (2014). Cadre stratégique de la gestion durable des terres (CS-GDT) au Niger et son plan d'investissement 2015-2029.

Minka, N. S., & Ayo, J. (2014). Influence of cold-dry (harmattan) season on colonic temperature and the development of pulmonary hypertension in broiler chickens, and the modulating effect of ascorbic acid. Open Access Animal Physiology. https://doi.org/10.2147/oaap.s51741

Molenaar, F., Ursu, A-E., Tinni, B.A., Hoffmann, A., Meester, J. (2017). A Line in the Sand: Roadmap for sustainable migration management in Agadez. Clingendael Institute.

Mondiale Banque. (2013). Evaluation des risques du secteur agricole au Niger: De la Réaction Aux Crises à la Gestion des Risques à Long Terme.

Monimart, M., & Tan, S. F. (2011). Gender and Access to Land and Natural Resources in Mali and Niger.

Morgan, N., Pica-Ciamarra, U. (2011). What does sex-disaggregated data say about livestock and gender in Niger? Livestock Data Innovation in Africa Brief 1. Rome, Italy. FAO.

Moser, C. (1993). Gender Planning and Development: Theory, Practice and Training. Routledge.

Moser, S. C., & Ekstrom, J. A. (2010). A Framework to Diagnose Barriers to Climate Change Adaptation. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107(51), 22026–22031. https://doi.org/10.1073/pnas.1007887107

Mounir, Z. M., Moustapha, A. M., Gao, C. S., Yi, S. (2013). Impact of Droughts and Irrigation Technique on Water Resources in the Lower Valley of the Tarka, Niger. Journal of Environmental Hydrology, 21, 1–13.

Moussa, S. & Abasse, T. (2020). Farmers' strategies for adapting to climate change in Niger.

Moussa, I., Walter, C., Michot, D., Boukary, I. A., Nicolas, H., Pichelin, P., Gu, Y. (2020). Soil Salinity Assessment in Irrigated Paddy Fields of the Niger Valley Using a Four-Year Time Series of Sentinel-2 Satellite Images. Remote Sensing, 12(3399), 1–17.

MRAH (Ministère des Ressources Animales et Halieutiques). (2020). Synthesis Report on Pastoral Resources and Pastoral Zones. Ministry of Animal and Fisheries Resources Burkina Faso.

Mubaya, C. P., Njuki, J., Mutsvangwa, E. P., Mugabe, F. T., Nanja, D. (2012). Climate Variability and Change or Multiple Stressors? Farmer Perceptions Regarding Threats to Livelihoods in Zimbabwe and Zambia. Journal of Environ-

mental Management, 102, 9–17. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.02.005

Müller, C., Bondeau, A., Popp, A., Waha, K., & Fader, M. (2010). Climate change impacts on agricultural yields.

Murken, L., Cartsburg, M., Chemura, A., Didovets, I., Gleixner, S., Koch, H., Lehmann, J., Liersch, S., Lüttringhaus, S., Rivas López, M. R., Noleppa, S., Roehrig, F., Schauberger, B., Shukla, R., Tomalka, J., Yalew, A., Gornott, C. (2020). Climate Risk Analysis for Identifying and Weighing Adaptation Strategies in Ethiopia's Agricultural Sector.

Nation, M. L. (2010). Understanding Women's Participation in Irrigated Agriculture: A Case Study From Senegal. Agriculture and Human Values, 27, 163–176. https://doi.org/10.1007/s10460-009-9207-8

Nazoumou, Y., Favreau, G., Moustapha, M., Maïnassara, I. (2016). La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger? Cahiers Agricultures, 25(15003), 1–10. https://doi.org/10.1051/cagri/2016005

Newman, L., & Dale, A. (2004). Network Structure, Diversity and Proactive Resilience Building: A Response to Tompkins and Adger. Ecology and Society, 10(2), Online.

Nielsen, J. Ø., & Reenberg, A. (2010). Cultural Barriers to Climate Change Adaptation: A Case Study from Northern Burkina Faso. Global Environmental Change, 20(1), 142–152. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.10.002

Nill, D., Dorlöchter-Sulser, S., Gaoh, S. M. A. (2014). Contour stone bunds [Niger].

Nwosu, C., & Ogbu, C. (2011). Climate Change and Livestock Production in Nigeria: Issues and Concerns. Agro-Science, 10(1), 41–60. https://doi.org/10.4314/as.v10i1.68720

Nyantakyi-Frimpong, H. (2019). Unmasking Difference: Intersectionality and Smallholder Farmers' Vulnerability to Climate Extremes in Northern Ghana. Gender, Place and Culture, 27(11), 1536–1554. https://doi.org/10.1080/0966369X.2019.1693344

Ogunrinde, A. T., Oguntunde, P. G., Akinwumiju, A. S., Fasinmirin, J. T. (2020). Evaluation of the impact of climate change on the characteristics of drought in Sahel Region of Nigeria: 1971–2060. African Geographical Review. https://doi.org/10.1080/19376812.2020.1814826

Olorunnisomo, O.A. (2015). Grass silage as conserved forage for cattle production in the humid party of Nigeria, on 1st Biennial Conference: Society for Grassland Research and Dev. in Nigeria, Dec. 6-9, 2015, Federal Univ. of Agric. Abeokuta, Nigeria. At: Abeokuta, Nigeria Volume: 1.

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J. F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. Geoscientific Model Development. https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016

O'Neill, B. C., Kriegler, E., Ebi, K. L., Kemp-Benedict, E., Riahi, K., Rothman, D. S., van Ruijven, B. J., van Vuuren, D. P., Birkmann, J., Kok, K., Levy, M., Solecki, W. (2017). The roads ahead: Narratives for shared socioeconomic pathways describing world futures in the 21st century. Global Environmental Change. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.004

Opata, P. I., Nweze, N. J., Ezeibe, A. B., Mallam, M. (2019). Efficiency of Irrigated and Rain-fed Rice (Oryza Sativa) Producers in Fadama Agriculture, Nigeria. Experimental Agriculture, 55(4), 597–609. https://doi.org/10.1017/S0014479718000212

Osbahr, H., & Allan, C. (2003). Indigenous knowledge of soil fertility management in southwest Niger. Geoderma, 111(3–4), 457–479. https://doi.org/10.1016/S0016-7061(02)00277-X

Pandey, R. K., Maranville, J. W., Crawford Jr., T. W. (2008). Agriculture Intensification and Ecologically Sustainable Land Use Systems in Niger: Transition from Traditional to Technologically Sound Practices. Journal of Sustainable Agriculture, 19(2), 5–24. https://doi.org/10.1300/J064v19n02

Parkes, B., Defrance, D., Sultan, B., Ciais, P., Wang, X. (2018). Projected changes in crop yield mean and variability over West Africa in a world 1.5 K warmer than the pre-industrial era. Earth System Dynamics, 9(1), 119-134.

Pavelic, P., Giordano, M., Keraita, B. N., Ramesh, V., Rao, T. (2012). Groundwater availability and use in Sub-Saharan Africa: A review of 15 countries. International Water Management Institute (IWMI). https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/33844

Perez, C., Jones, E. M., Kristjanson, P., Cramer, L., Thornton, P. K., Förch, W., Barahona, C. (2015). How Resilient Are Farming Households and Communities to a Changing Climate in Africa? A Gender-Based Perspective. Global Environmental Change, 34, 95–107. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.06.003

Pfeifer, C., Morris, J., Ensor, J., Ouédraogo-Koné, S., Mulatu, D. W., Wakeyo, M. (2020). Designing sustainable pathways for the livestock sector: The example of Atsbi, Ethiopia and Bama, Burkina Faso. International Journal of Agricultural Sustainability, 1–16. https://doi.org/10.1080/14735903.2020.1824419

Pielke, R., Prins, G., Rayner, S., Sarewitz, D. (2007). Lifting the Taboo on Adaptation. Nature, 445, 597–598. https://doi.org/10.1038/445597a

Place, F. and Binam, J. N. (2013) Economic impacts of farmer managed natural regeneration in the Sahel: end of project technical report. Amsterdam.

Pye-Smith, C. (2013). THE QUIET REVOLUTION: How Niger's farmers are re-greening the parklands of the Sahel. Nairobi, Kenya.

Raes, D., Waongo, M., Vanuytrecht, E., Moreno, P. M. (2021). Improved management may alleviate some but not all of the adverse effects of climate change on crop yields in smallholder farms in West Africa. Agricultural and Forest Meteorology, 308, 108563.

Rahimi, J., Mutua, J. Y., Notenbaert, A. M. O., Dieng, D., Butterbach-Bahl, K. (2020). Will dairy cattle production in West Africa be challenged by heat stress in the future? Climatic Change, 161(4), 665–685. https://doi.org/10.1007/s10584-020-02733-2

Ramirez-Villegas, J., Jarvis, A., Läderach, P. (2013). Empirical approaches for assessing impacts of climate change on agriculture: The EcoCrop model and a case study with grain sorghum. Agricultural and Forest Meteorology, 170, 67-78.

Rao, N., Lawson, E. T., Raditloaneng, W. N., Solomon, D., Angula, M. N. (2019). Gendered Vulnerabilities to Climate Change: Insights From the Semi-Arid Regions of Africa and Asia. Climate and Development, 11(1), 14–26. https://doi.org/10.1080/17565529.2017.1372266

Rattunde, H.F.W., Michel, S., Leiser, W.L., Piepho, H.P., Diallo, C., Vom Brocke, K., Diallo, B., Haussmann, B.I.G., Weltzien, E. (2016). Farmer participatory early-generation yield testing of sorghum in west Africa: Possibilities to optimize genetic gains for yield in farmers' fields. Crop Sci. 56, 2493–2505. https://doi.org/10.2135/cropsci2015.12.0758

RECA (Réseau National des Chambres d'Agriculture). (2004). Le Zonage Agro-écologique du NIGER. http://www.reca-niger.org/IMG/pdf/Le_zonage_agroecologique_du_Niger_Extraits.pdf

Reij, C. and Garrity, D. (2016). Scaling up farmer-managed natural regeneration in Africa to restore degraded landscapes. Biotropica, 48(6), 834–843. https://doi.org/10.1111/btp.12390

Reij, C., Tappan, G., Smale, M. (2009). Agroenvironmental Transformation in the Sahel: Another Kind of "Green Revolution." In IFPRI Discussion Paper (No. 9780896296695; Issue 00914). http://www.ifpri.org/sites/default/files/publications/ifpridp00914.pdf

Reliefweb. (2012). Market Gardens Key to Autonomy for Niger Women. https://reliefweb.int/report/niger/market-gardens-key-autonomy-niger-women

République du Niger. (2003). Stratégie de Développement Rural.

République du Niger. (2007). Accelerated Development and Poverty Reduction Strategy 2008-2012.

République du Niger. (2015). Initiative 3N: Pour la Sécurité Alimentaire et Nutritionelle et le Développement Agricole Durables.

République du Niger. (2020). Stratégie et Plan National d'Adaptation face aux changements climatiques dans le secteur Agricole (SPN2A) (No. 1975200020). https://spn2a.org/wp-content/uploads/2020/05/AdaptAction_Niger_SPN2A_document_cadre_10042020.pdf

Republic of Niger. (2006). National Adaptation Programme of Action.

Republic of Niger. (2015). Intended Nationally Determined Contributions of Niger.

Rhissa. (2010). Revue du secteur de l'evelage au Niger. Ministère de l'Evelage, des Pêches et des Industries Animales.

Ribot, J. C., & Peluso, N. L. (2003). A theory of access. Rural Sociology, 68(2), 153–181. https://doi.org/10.1111/j.1549-0831.2003.tb00133.x

Rigg, S., Lovell, E., Pichon, F. (2016). Assessing Gender in Resilience Programming: Burkina Faso. Issue no. 2.1. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/10216.pdf

Rockström, J. (2000). Water resources management in smallholder farms in eastern and southern Africa, an overview. Physics and Chemistry of the Earth Part B-hydrology Oceans and Atmosphere 275–283.

Rodima-Taylor, D. (2012). Social Innovation and Climate Adaptation: Local Collective Action in Diversifying Tanzania. Applied Geography, 33(1), 128–134. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.10.005

Roehrig, R., Bouniol, D., Guichard, F., Hourdin, F. déric, Redelsperger, J. L. (2013). The present and future of the west african monsoon: A process-oriented assessment of CMIP5 simulations along the AMMA transect. Journal of Climate. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-12-00505.1#

Rolinski, S., Müller, C., Heinke, J., Weindl, I., Biewald, A., Leon Bodirsky, B., Bondeau, A., Boons-Prins, E. R., Bouwman, A. F., Leffelaar, P. A., Roller, J. A. T., Schaphoff, S., Thonicke, K. (2018). Modeling vegetation and carbon dynamics of managed grasslands at the global scale with LPJmL 3.6. Geoscientific Model Development, 11(1), 429–451. https://doi.org/10.5194/gmd-11-429-2018

Roobroeck, D., van Asten, P., Jama, B., Harawa, R., Vanlauwe, B. (2015). Integrated Soil Fertility Management: Contributions of Framework and Practices to Climate-Smart Agriculture.

Roose, E., Kabore, V., & Guenat, C. (1999). Zai practice: A west african traditional rehabilitation system for semiarid degraded lands, a case study in burkina faso. Arid Soil Research and Rehabilitation, 13(4), 343–355. https://doi.org/10.1080/089030699263230

Roudier, P., Alhassane, A., Baron, C., Louvet, S., Sultan, B. (2016). Assessing the Benefits of Weather and Seasonal Forecasts to Millet Growers in Niger. Agricultural and Forest Meteorology, 223, 168–180. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.04.010

Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., Baron, C., Alhassane, A., Traoré, S. B., Muller, B. (2012). An ex-ante evaluation of the use of seasonal climate forecasts for millet growers in SW Niger. International Journal of Climatology, 32(5), 759–771. https://doi.org/10.1002/joc.2308

Rust, J. M., & Rust, T. (2013). Climate change and livestock production: A review with emphasis on Africa. South African Journal of Animal Sciences, 43(3), 256–267. https://doi.org/10.4314/sajas.v43i3.3

Sally, H., & Lévite, H. (2011). Participatory Diagnosis of the Irrigation Schemes in the Sahel: Experiences from Burkina Faso and Niger. ICID 21st International Congress on Irrigation and Drainage, Conference.

Sanginga, N., & Woomer, P. L. (2009). Integrated Soil Fertility Management in Africa—Principles, Practices and Development Process. Tropical Soil Biology and Fertility Institute of the International Centre for Tropical Agriculture (TSBF-CIAT).

Sanou, L., Savadogo, P., Ezebilo, E. E., Thiombiano, A. (2019). Drivers of Farmers' Decisions to Adopt Agroforestry: Evidence from the Sudanian Savanna Zone, Burkina Faso. Renewable Agriculture and Food Systems, 34(2), 116–133. https://doi.org/10.1017/S1742170517000369

Savadogo, M., Somda, J., Seynou, O., Zabré, S., Nianogo, A. J. (Eds.). (2011a). Catalogue de bonnes pratiques d'adaptation aux risques climatiques au Burkina Faso. Programme UICN-Burkina Faso.

Savadogo, P., Diawara, S., Dayamba, S. D., Sawadogo, L., Nacro, H. B. (2017). Limited long-term effects of moderate livestock grazing and prescribed early fire on soil and root processes in Sudanian savanna-woodlands, West Africa. Geoderma, 306, 18–27. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.07.002

Sawadogo, H. (2011). Using Soil and Water Conservation Techniques to Rehabilitate Degraded Lands in Northwestern Burkina Faso. International Journal of Agricultural Sustainability, 9(1), 120–128. https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0552

Schauberger, B., Gornott, C., Wechsung, F. (2017). Global evaluation of a semiempirical model for yield anomalies and application to within-season yield forecasting. Global Change Biology, 23(11), 4750–4764. https://doi.org/10.1111/gcb.13738

Schaphoff, S., von Bloh, W., Rammig, A., Thonicke, K., Biemans, H., Forkel, M., Gerten, D., Heinke, J., Jägermeyr, J., Knauer, J., Langerwisch, F., Lucht, W., Müller, C., Rolinski, S., Waha, K. (2018). LPJmL4 – a dynamic global vegetation model with managed land – Part 1: Model description. Geoscientific Model Development, 11(4), 1343–1375. https://doi.org/10.5194/gmd-11-1343-2018

Scheffran, J., Brzoska, M., Kominek, J., Link, P.M., Schilling, J. (2012). Climate Change and Violent Conflict.Science 336, 869. DOI: 10.1126/science.1221339

Schewe, J., & Levermann, A. (2017). Non-linear intensification of Sahel rainfall as a possible dynamic response to future warming. Earth System Dynamics. https://doi.org/10.5194/esd-8-495-2017

Schilling, J., Scheffran, J., Link, P.M. (2010). Climate Change and Land Use Conflicts in Northern Africa. Nova Acta Leopoldina NF 112(384): 173–82.

Schleussner, C.-F., Donges, J.F., Donner, R.V., Schellnhuber, H.J. (2016). Armed-Conflict Risks Enhanced by Climate-Related Disasters in Ethnically Fractionalized Countries. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 113(33): 9216–21.

Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(50), 19703–19708. https://doi.org/10.1073/pnas.0701976104

Shackleton, S., Ziervogel, G., Sallu, S., Gill, T., Tschakert, P. (2015). Why Is Socially-Just Climate Change Adaptation in Sub-Saharan Africa So Challenging? A Review of Barriers Identified From Empirical Cases. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 6(3), 321–344. https://doi.org/10.1002/wcc.335

Smale, M., Tappan, G. and Reij, C. (2018). Chapter 1. Farmer-managed restoration of agroforestry parklands in Niger. In Fostering transformation and growth in Niger's agricultural sector. The Netherlands: Wageningen Academic Publishers, pp. 19–34. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-873-5

Sorgho, R., Mank, I., Kagoné, M., Souares, A., Danquah, I., Sauerborn, R. (2020). "We Will Always Ask Ourselves the Question of How to Feed the Family": Subsistence Farmers' Perceptions on Adaptation to Climate Change in Burkina Faso. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(19), 1–26. https://doi.org/10.3390/ijerph17197200

Srinivasan, R., Giannikas, V., Kumar, M., Guyot, R., McFarlane, D. (2019). Modelling food sourcing decisions under climate change: A data-driven approach. Computers & Industrial Engineering. 128:911-9.

Statista. (n.d.). Countries with the highest population growth rate 2017. https://www.statista.com/statistics/264687/countries-with-the-highest-population-growth-rate/

Stern, R. D., Dennett, M. D., & Garbutt, D. J. (1981). The start of the rains in West Africa. Journal of Climatology, 1(1), 59–68. https://doi.org/10.1002/joc.3370010107

Stoeffler, Q., Mills, B., Premand, P. (2020). Poor Households' Productive Investments of Cash Transfers: Quasi-Experimental Evidence From Niger. Journal of African Economies, 29(1), 63–89. https://doi.org/10.1093/jae/ejz017

Sultan, B., Roudier, P., Quirion, P., Alhassane, A., Muller, B., Dingkuhn, M., Baron, C. (2013). Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. Environmental Research Letters, 8(1), 014040.

Tabbo, A. M., & Amadou, Z. (2017). Assessing Newly Introduced Climate Change Adaptation Strategy Packages Among Rural Households: Evidence From Kaou Local Government Area, Tahoua State, Niger Republic. Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies, 9(1), 1–7. https://doi.org/10.4102/jamba.v9i1.383

Tall, A., Kristjanson, P., Chaudhury, M., Mckune, S. (2014). Who Gets the Information? Gender and Climate (No. 89; CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS)).

Tarchiani, V., & Tiepolo, M. (2016). Risque et adaptation climatique dans la Région Tillabéri, Niger (p. 31). L'Harmattan.

Tarchiani, V., Massazza, G., Rosso, M., Tiepolo, M., Pezzoli, A., Ibrahim, M. H., Katiellou, G. L., Tamagnone, P., De Filippis, T., Rocchi, L., Marchi, V., Rapisardi, E. (2020). Community and Impact Based Early Warning System for Flood Risk Preparedness: The Experience of the Sirba River in Niger. Sustainability, 12(1802), 1–24. https://doi.org/10.3390/su12051802

Thunes, K. H., Ratnadass, A., Nikiema, A., Claude, Z. (2016). Pest Damage on Jatropha Curcas (Euphorbiaceae): The Effect of Seedling Irrigation in Sahelian Niger. International Journal of Tropical Insect Science, 36(3), 140–145. https://doi.org/10.1017/S1742758416000084

Tidjani, A. D., Abdou, A. A., Faran, M., Amadou, O., & Amoukou, I. (n.d.). Perceptions de la variabilité climatique et stratégies d'adaptation dans le système oasien de Gouré (sud-est Niger). 25–37.

Tomalka, J., Lange, S., Röhrig, F., Gornott, C. (2020). Climate Risk Profile: Niger.

Tompkins, E. L. (2005). Planning for Climate Change in Small Islands: Insights from National Hurricane Preparedness in the Cayman Islands. Global Environmental Change, 15(2), 139–149. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.11.002

Torou, B. M., Favreau, G., Barbier, B., Pavelic, P., Illou, M., Sidibé, F. (2013). Constraints and Opportunities for Groundwater Irrigation Arising from Hydrologic Shifts in the Iullemmeden Basin, South-Western Niger. Water International, 38(4), 465–479. https://doi.org/10.1080/02508060.2013.817042

Tougiani, A., Guero, C. & Rinaudo, T. (2009). Community mobilisation for improved livelyhoods through tree crop management in Niger. GeoJournal 74, 377. https://doi.org/10.1007/s10708-008-9228-7

Touré, A. A., Tidjani, A. D., Rajot, J. L., Marticorena, B., Bergametti, G., Bouet, C., Ambouta, K. J. M., Garba, Z. (2019). Dynamics of Wind Erosion and Impact of Vegetation Cover and Land Use in the Sahel: A Case Study on Sandy Dunes in Southeastern Niger. Catena, 177(February), 272–285. https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.011

Traore, S., & Owiyo, T. (2013). Dirty droughts causing loss and damage in Northern Burkina Faso. International Journal of Global Warming, 5(4), 498. https://doi.org/10.1504/IJGW.2013.057288

UNCCD (United Nations Convention to Combat Desertification). (2020). The Great Greenwall Implementation Status And Way Ahead To 2030. https://www.unccd.int/actions/great-green-wall-initiative

UNDESA (UN Department of Economic and Social Affairs). (2019). Migrant Stock by Origin and Destination 2019.

UNDP (United Nations Development Programme), GEF (Global Environment Facility), UN Environment. (2015). Stocktaking Report for the NAP Process in Niger.

UNICEF (United Nations Children's Fund) (2009) Sustainable transfer of manual well drilling to the private sector in Niger. Practica Foundation, EnterpriseWorks/VITA , UNICEF.

USAID (United States Agency for International Development). (2016). USAID Country Profile: Property Rights and Resource Governance in Niger.

Van Aelst, K., & Holvoet, N. (2016). Intersections of Gender and Marital Status in Accessing Climate Change Adaptation: Evidence from Rural Tanzania. World Development, 79(July 2015), 40–50. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.11.003

Van Der Wijngaart, R., Helming, J., Jacobs, C., Garzon Delvaux, P., Hoek, S., Gomez, Y. P. S. (2019). Irrigation and irrigated agriculture potential in the Sahel: The case of the Niger river basin. Publications Office of the European Union. https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/111111111/55648

Vanlauwe, B., Bationo, A., Chianu, J., Giller, K. E., Merckx, R., Mokwunye, U., Ohiokpehai, O., Pypers, P., Tabo, R., Shepherd, K. D., Smaling, E. M. A., Woomer, P. L., Sanginga, N. (2010). Integrated Soil Fertility Management: Opera-

tional Definition and Consequences for Implementation and Dissemination. Outlook on Agriculture, 39(1), 17–24. https://doi.org/10.5367/000000010791169998

Vanlauwe, B., Descheemaeker, K., Giller, K. E., Huising, J., Merckx, R., Nziguheba, G., Wendt, J., Zingore, S. (2015). Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: Unravelling local adaptation. Soil, 1, 491–508.

van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., Rose, S. K. (2011a). The representative concentration pathways: An overview. Climatic Change. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z

Van Vuuren, D. P., Stehfest, E., den Elzen, M. G. J., Kram, T., van Vliet, J., Deetman, S., Isaac, M., Klein Goldewijk, K., Hof, A., Mendoza Beltran, A., Oostenrijk, R., van Ruijven, B. (2011b). RCP2.6: exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. Climatic Change, 109(1-2), 95–116. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0152-3

Viguier Pierre. Les cultures fourragères dans les stations expérimentales de l'Office du Niger (1946) In: Revue internationale de botanique appliquée et d'agriculture tropicale, 26e année, bulletin n°287-288, Septembre-octobre 1946. pp. 554-56.

Vink, M. J., Dewulf, A., Termeer, C. (2013). The Role of Knowledge and Power in Climate Change Adaptation Governance: A Systematic Literature Review. Ecology and Society, 18(4). https://doi.org/10.5751/ES-05897-180446

Vira, B., Agarwal, B., Jamnadass, R., Kleinschmit, D., McMullin, S., Mansourian, S., Neufeldt, H., Parrotta, J. A., Sunderland, T., & Wildburger, C. (2015). Forests, Trees and Landscapes for Food Security and Nutrition. In B. Vira, C. Wildburger, & S. Mansourian (Eds.), Forests and Food: Addressing Hunger and Nutrition Across Sustainable Landscapes (pp. 9–26). Open Book Publishers. https://doi.org/10.11647/OBP.0085.01

Von Bloh, W., Schaphoff, S., Müller, C., Rolinski, S., Waha, K., Zaehle, S. (2018). Implementing the nitrogen cycle into the dynamic global vegetation, hydrology, and crop growth model LPJmL (version 5.0). Geoscientific Model Development, 11(7), 2789–2812. https://doi.org/10.5194/gmd-11-2789-2018

Von Uexkull, N., Croicu, M., Fjelde, H., Buhaug, H. (2016). Conflict sensitivity to growing-season drought. Proceedings of the National Academy of Sciences. 113 (44) 12391-12396; https://doi.org/10.1073/pnas.1607542113

WASCAL. (2020a). Household survey on sorghum production with ICV.

WASCAL. (2020b). Regional sorghum yield data for Centre North region.

Wayne, G. P. (2013). The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways. Skeptical Sciece. https://doi.org/10.1063/1.1370531

Weston, P., Hong, R., Kaboré, C., Kull, C. A. (2015). Farmer-Managed Natural Regeneration enhancees rural livelihoods in dryland West Africa. Environmental Management, 55(6), 1402–1417. https://doi.org/10.1007/s00267-015-0469-1

WFP (World Food Programme) & USAID (United States Agency for International Development). (2017). Women Empowerment in Niger: From Markets to Households to Communities.

White, J.W., Alagarswamy, G., Ottman, M.J., Porter, C.H., Singh, U., Hoogenboom, G. (2015). An over-view of CERES–sorghum as implemented in the cropping system model version 4.5. Agronomy Journal 107, 1987–2002. https://doi.org/10.2134/agronj15.0102

Wijngaart, R. V. D., Helming, J., Jacobs, C., Andrés, P., Delvaux, G., Hoek, S., Gomez, S. (2019). Irrigation and Irrigated Agriculture Potential in the Sahel: The Case of the Niger River Basin (No. 9789279742750). https://doi.org/10.2760/725906

Wildemeersch, J. C. J., Timmerman, E., Mazijn, B., Sabiou, M., Ibro, G., Garba, M., Cornelis, W. (2013). Assessing the Constraints to Adopt Water and Soil Conservation Techniques in Tillaberi, Niger. Land Degradation & Development, 26(5), 491–501. https://doi.org/10.1002/ldr.2252

Wildemeersch, J. C. J., Garba, M., Sabiou, M., Fatondji, D., & Cornelis, W. M. (2015). Agricultural drought trends and mitigation in Tillaberí, Niger. Soil Science and Plant Nutrition, 61(3), 414–425. https://doi.org/10.1080/00380768.2014.9996

Wolf, J., Adger, W., Lorenzoni, I., Abrahamson, V., Raine, R. (2010). Social Capital, Individual Responses to Heat Waves and Climate Change Adaptation: An Empirical Study of Two UK Cities. Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions, 20(1), 44–52.

World Bank. (2009). Implementation completion and results report: Private Irrigation Promotion Project (PIP2).

World Bank. (2018). World Development Indicators. https://databank.worldbank.org/source/worlddevelopment- indicators

World Bank. (2019). Economic Impacts of Gender Inequality in Niger.

World Bank (2020). Can Niger escape the demographic trap? https://blogs.worldbank.org/africacan/can-niger-escape-demographic-trap

World Food Programme & USAID. (2017). Women Empowerment in Niger: From Markets to Households to Communities.

Wouterse, F. (2017). Empowerment, Climate Change Adaptation and Agricultural Production: Evidence from Niger. Climatic Change, 145(3–4), 367–382. https://doi.org/10.1007/s10584-017-2096-8

Yaméogo, B. T., Kabore/Bontogho, P. E., Torou, B. M., Bagagnan, A. R., Barry, B. (2017). Barriers To Uptake of Climate-Smart Agriculture Practices: A Case Study of Dano and Ouahigouya Farmers, Burkina Faso. International Journal of Agriculture and Environmental Research, 03 (04), 3409–3428.

Yaméogo, T. B., Fonta, W. M., Wünscher, T. (2018). Can Social Capital Influence Smallholder Farmers' Climate-Change Adaptation Decisions? Evidence From Three Semi-Arid Communities in Burkina Faso, West Africa. Social Sciences, 7(3), 1–20. https://doi.org/10.3390/socsci7030033

Zakari, S. (2017). Adoption des technologies et pratiques d'agriculture intelligente face au climat dans les sites CCAFS (Niger).

Zampaligré, N., & Schlecht, E. (2018). Livestock foraging behaviour on different land use classes along the semi-arid to sub-humid agro-ecological gradient in West Africa. Environment, Development and Sustainability, 20(2), 731–748. https://doi.org/10.1007/s10668-017-9907-y

Zongo, B., Abdoulaye D., Barbier B., Thomas D. (2015). Crop supplemental irrigation experiences in Burkina Faso. In Our Common Future Under Climate Change: International Scientific Conference Abstract Book. Our Common Future Under Climate Change Conference.

Zongo, B., Diarra, A., Barbier, B., Zorom, M., Karambiri, H., Ouédraogo, S., Toé, P., Hamma, Y., Dogot, T. (2019). Ex-Ante Evaluation of Supplemental Irrigation in a Sahelian Context: Coupling Biophysical and Economic Models. Biotechnology, Agronomy and Society and Environment, 23(3), 174–187.

Zou, X., Li, Y., Li, K., Cremades, R., Gao, Q., Wan, Y., Qin, X. (2013). Greenhouse gas emissions from agricultural irrigation in China. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 20(2), 295–315. https://doi.org/10.1007/s11027-013-9492-9



ANNEXE

Chapitre 6 – Adaptation et capacité d'adaptation au Niger

6.2.1 Accès aux ressources - p.73.

Tableau 1 : Régression Probit sur les facteurs affectant la probabilité d'adaptation au changement climatique (ECVMA, 2011).

Variable dépendante	Stratégie d'adaptation mise en œuvre par le ménage
Caractéristiques du ménage	
Chef de ménage femme=oui	-.154
Âge du chef de ménage en années	-.011
Âge du ménage en années # Âge du ménage en années	0.000
Chef de ménage a suivi une formation= oui	-.022
Nombre total de personnes dans le ménage	.029***
Caractéristiques de l'exploitation	
Superficie des terres en log	.058***
Constante	-.098
Observations	2225
Pseudo R2	0.009

6.3.2 Un point de vue intersectoriel

Info Box: Encadré d'informations complémentaires : le potentiel des stratégies d'adaptation pour améliorer la production agricole – p.78.

Tableau 2 : Stratégies d'adaptation communément pratiquées contre les changements de température ou de précipitations.

Stratégies d'adaptation	Pourcentage* de ménages mettant en œuvre les stratégies
Pratiquer plus souvent d'autres activités non agricoles (diversifier les sources de revenus)	49
Changement de variétés de semences	29
Migration de certains membres du ménage	27
Pratiquer l'agriculture de contre-saison	25
Terrasser le sol ou utiliser d'autres méthodes de protection contre l'érosion	23
Élever moins de bétail pour augmenter l'agriculture	23
Élever moins de moutons et passer à la chèvre	19
Planter des arbres	18
Réduire l'élevage de petits ruminants et passer aux bovins	13
Adopter une technique spécifique pour régénérer le couvert végétal favorisé par le bétail	12
Irriguer plus intensivement	12
Réduire l'élevage de bovins et passer aux chameaux	8

Info Box: Encadré d'informations complémentaires : le potentiel des stratégies d'adaptation pour améliorer la production agricole – p.79.

Tableau 3 : L'impact de l'adaptation sur la production alimentaire.

Variable dépendante	Production totale de cultures de saison humide
Nombre de stratégies d'adaptation	0.000
Caractéristiques du ménage	
Chef de ménage femme=oui	-0.627***
Âge du chef de ménage en années	0.002
Âge du chef de ménage en années # Âge du chef de ménage en années	-0.000
Chef de ménage ayant suivi une formation = oui	0.130**
Nombre total de personnes dans le ménage	0.028***
Caractéristiques de l'exploitation	
Surface du terrain en log	0.268***
Type de sol = sableux	
Limoneux	0.168
Argileux	0.154*
Rocheux	-0.076
Topographie = colline	
Plaine	0.036
Pente douce	-0.014
Pente raide	0.212
Vallée	0.145
Autre	2.082*
Agroécologie= Tropique-chaud/aride	
Tropicale-chaude/semi-aride	0.286**
Zone agro-écologique = urbaine	0.000
Agricole	0.068
Agropastorale	0.032
Pastorale	0.127
Taille totale du troupeau	0.010***
Biophysique	
Précipitations totales (mm) en 2011	0.002***
Température en oc	-0.151*
Autres contrôles	
Effet fixe de région	yes
Distance au marché en log	-0.037
Il y a un agent de vulgarisation agricole qui vit dans le village = oui	0.224**
Constante	8.443***
Observations	1662
R^2	0.305

* p < 0.10, ** p < 0.05, *** p < 0.01