



# Analyse des risques climatiques pour la planification de l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole à Madagascar



POTS DAM INSTITUTE FOR  
CLIMATE IMPACT RESEARCH

**giz** Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Mandaté par



Ministère fédéral de la  
Coopération économique  
et du Développement

## Analyse des risques climatiques pour la planification de l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole à Madagascar

Carla Cronauer, Chiara Sophia Weituschat, Anna Hampf, Sabine Undorf, Stephanie Gleixner, Jillian Waid, Lisa Murken

Un rapport préparé par Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) en collaboration avec la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH à Madagascar pour le compte du ministère fédéral allemand de la coopération économique et du développement (BMZ).

### Remerciements

Ce travail a été commissionné et financé par le projet PrAda de la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) à Madagascar, dont nous sommes reconnaissants. Nous remercions tout particulièrement les collègues de la GIZ Madagascar, Lena Klockemann, Emilie Perrousset, le Dr. Joost Koks et Lea Doumenjou, pour leurs contributions précieuses à l'étude. Nous les remercions, ainsi que la GIZ Madagascar, pour leur soutien global tout au long du processus d'étude et pour avoir contribué à l'engagement des parties prenantes malgaches. Nous tenons également à remercier le Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural (FOFIFA) pour avoir fourni l'accès aux données, notamment pour la calibration du modèle de rendement de l'arachide, et le Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage (MINAE) pour la fourniture des données de production pour les différentes cultures considérées. L'étude a également bénéficié d'un atelier organisé à Antananarivo avec des parties prenantes du gouvernement national, de la société civile, du monde universitaire, du secteur privé, des praticiens et des partenaires de développement. Les discussions animées sur l'approche et le contenu de l'étude ont permis de formuler des recommandations pertinentes. Nous sommes également reconnaissants à Yvonne Okumu, qui a soutenu l'analyse des données des enquêtes auprès des ménages à Madagascar. Nous remercions également Priscilla Ntuchu Kephe et Mélika Vodounhessi pour la traduction et la relecture du rapport en français. De plus, les auteures souhaitent remercier toutes les personnes interrogées pour leur temps et pour les informations utiles qu'elles ont fournies.

### Contributions des auteures

Carla Cronauer, Chiara Sophia Weituschat et Lisa Murken ont coordonné et édité l'ensemble de l'étude, en veillant à l'alignement des différentes étapes de l'analyse et en distillant les principaux résultats et la conclusion. Carla Cronauer a préparé la première version du manuscrit, avec l'aide de Chiara Sophia Weituschat. Sabine Undorf a réalisé l'analyse climatique du chapitre 2, avec la contribution de Stephanie Gleixner. Anna Hampf a réalisé l'analyse de l'aptitude des cultures ainsi que l'analyse du rendement des cultures dans les chapitres 3 et 4, avec des données climatiques préparées par Stephanie Gleixner. Carla Cronauer a préparé l'évaluation des dimensions liées au genre et des besoins de soutien institutionnel pour le chapitre 4. Chiara Sophia Weituschat et Lisa Murken ont coordonné et mis en œuvre la collecte de données socio-économique au niveau des ménages à Madagascar, avec la contribution significative de Jillian Waid lors des phases de conception et de mise en œuvre.

### Référence recommandée

Cronauer, C., Weituschat, C. S., Hampf, A., Undorf, S., Gleixner, S., Waid, J. & Murken, L. (2024). Analyse des risques climatiques pour la planification de l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole à Madagascar. Un rapport préparé par Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) en collaboration avec la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH à Madagascar pour le compte du ministère fédéral allemand de la coopération économique et du développement (BMZ). DOI: 10.48485/pik.2024.005.

Conception et mise en page : Miguel Faber

Crédits photos : Titre, P. 18, 21, 24: Chiara Sophia Weituschat, PIK; P. 6, 16: Jason Houston, USAID, Flickr; P. 9, 11, 23: Rod Waddington, Flickr

© Institut de Potsdam sur la recherche de l'impact du climat (PIK), Telegraphenberg A 31, 14473 Potsdam, Allemagne; 2024  
Cet article en libre accès est distribué sous Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs 3.0 Generic (CC BY-NC-ND).



## Résumé

### MOTS-CLÉS

*adaptation au  
changement  
climatique*

*agriculture*

*arachide*

*café*

*impacts  
climatiques*

*Madagascar*

*modélisation*

*de l'adéquation*

*modélisation  
des cultures*

*poivre*

*risques  
climatiques*

*vanille*

Madagascar a une dépendance socio-économique élevée à l'égard de l'agriculture, un secteur qui est considérablement influencé par les facteurs météorologiques et qui est de plus en plus confronté aux impacts du changement climatique. Actuellement, les informations disponibles sur les risques climatiques et leurs impacts pour le secteur agricole du pays sont limitées. Cette étude vise à fournir une analyse complète des risques climatiques, y compris une évaluation approfondie de deux stratégies d'adaptation potentielles qui peuvent guider les décideurs locaux dans la planification et la mise en œuvre de l'adaptation à Madagascar. L'étude d'impact est composée de plusieurs étapes, dont des projections climatiques basées sur trois scénarios d'émissions (SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5), la modélisation et la comparaison de l'adéquation et du rendement futurs de trois cultures largement utilisées (café, vanille, poivre) et une évaluation des changements de rendement dans la production d'arachide pour les conditions climatiques futures.

De plus, l'étude souligne les défis liés au genre et les besoins de soutien dans la planification nationale de l'adaptation. Les résultats de la simulation montrent que le café Robusta est moins sensible à la chaleur par rapport au café Arabica. La zone propice au café Robusta reste presque stable dans des conditions climatiques changeantes, tandis que l'aptitude du café Arabica devrait diminuer de 7% au niveau national. Les résultats de la simulation indiquent une légère augmentation de l'aptitude à la production de vanille, en particulier dans la principale région de croissance, Sava, mais aussi dans l'Atsimo Atsinanana, sauvegardant ainsi une importante source de revenus pour les agriculteurs locaux et garantissant la durabilité du produit d'exportation le plus précieux de Madagascar. En outre, le changement climatique devrait avoir un impact plutôt faible sur l'adéquation agro-climatique de la production de poivre. Si l'on fait la moyenne pour l'ensemble de Madagascar, la diminution de l'adéquation est inférieure à 1%, mais il existe des différences notables entre les régions et les scénarios.

Les résultats de la modélisation de l'arachide basée sur les processus montrent que l'augmentation de la température et la réduction des quantités de pluie sont susceptibles de diminuer les rendements de l'arachide à Madagascar. Toutefois, l'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique devrait compenser ces effets négatifs. L'étude a également évalué l'efficacité de deux stratégies d'adaptation, à savoir l'utilisation de variétés de cultures adaptées aux conditions locales et la flexibilité des dates de plantation. Les résultats de la simulation suggèrent que la culture traditionnelle Kanety est mieux adaptée aux futurs scénarios de changement climatique puisque les rendements de Kanety sont généralement plus élevés que ceux de la variété améliorée Fleur 11. Il est intéressant de noter que le choix de dates de plantation flexibles par opposition à une date de plantation fixe n'entraîne pas une augmentation des rendements. Ce résultat souligne l'importance des calendriers cultureux régionaux pour déterminer les dates de semis optimales. Les résultats de cette étude peuvent aider à informer la planification et les investissements nationaux et locaux en matière d'adaptation et de développement agricole afin de renforcer la résilience du secteur agricole et en particulier des petits exploitants face à un climat changeant à Madagascar.

## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 Zone d'étude</b> .....	<b>7</b>
<b>1.2 Approche de l'étude</b> .....	<b>8</b>
<b>2. Changement des conditions climatiques</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1 Climat actuel</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2 Projections climatiques</b> .....	<b>9</b>
<b>3. Impacts du changement climatique sur l'agriculture</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Impacts du changement climatique sur les zones de production du café</b> .....	<b>12</b>
<b>3.2 Impacts du changement climatique sur les zones de production de vanille</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3 Impacts du changement climatique sur les zones de production du poivre</b> .....	<b>15</b>
<b>3.4 Impacts du changement climatique sur le rendement des arachides</b> .....	<b>16</b>
<b>4. Stratégies d'adaptation</b> .....	<b>18</b>
<b>4.1 Sélection de variétés adaptées localement</b> .....	<b>19</b>
4.1.1 Les résultats de modélisation de Fleur 11 et Kantey sous différents scénarios climatiques.....	19
4.1.2 Dimensions de genre de l'utilisation de variétés adaptées .....	20
4.1.3 Exigences de soutien institutionnel .....	20
<b>4.2 Dates de plantation flexibles</b> .....	<b>21</b>
4.2.1 Les résultats de modélisation des dates de plantation flexibles selon différents scénarios climatiques .....	22
4.2.2 Dimensions de genre sur l'utilisation de dates de plantation flexibles .....	23
4.2.3 Exigences de soutien institutionnel .....	24
<b>5. Discussion et conclusion</b> .....	<b>25</b>
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>27</b>

## Liste des figures

Figure 1 : Carte de Madagascar.....	7
Figure 2 : La chaîne impact-action de l'analyse des risques climatiques.....	8
Figure 3 : Projection de l'évolution de la température moyenne par zone sur 21 ans pour les six régions Androy, Anosy, Atsimo Atsinanana, Vatovavy, Fitovinany et Atsinanana jusqu'en 2100 pour les modèles SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.....	9
Figure 4 : Projection de la moyenne sur 21 ans du changement moyen régional des précipitations pour les six régions Androy, Anosy, Atsimo Atsinanana, Vatovavy, Fitovinany et Atsinanana jusqu'en 2100 pour SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.....	10
Figure 5 : Précipitations totales annuelles projetées pour les régions de projection à Madagascar pour la période de référence historique (1985–2014), le changement entre la période de référence et 2030 (2015–2044) et entre la période de référence et 2050 (2035–2064). ...	10
Figure 6 : Superficies moyennes de café récoltées en ha par district au cours de la période 2005–2010.....	12
Figure 7 : Aptitude modélisée du café Arabica et du café Robusta à Madagascar pour la période 2000 (1985–2014). .....	12
Figure 8 : Changement modélisé de l'aptitude du café Arabica à Madagascar pour les périodes 2030 (2015–2044) et 2050 (2035–2064) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.....	13
Figure 9 : Changement modélisé de l'aptitude du café Robusta à Madagascar pour les périodes 2030 (2015–2044) et 2050 (2035–2064) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.....	13
Figure 10 : Aptitude de la vanille à Madagascar pour la période 2000 (1985–2014).....	14
Figure 11 : Changement dans l'aptitude à la production de vanille pour les périodes 2030 (2015–2044) et 2050 (2035–2064) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.....	14
Figure 12 : Aptitude du poivre à Madagascar pour la période 2000 (1985–2014). .....	15
Figure 13 : Changement dans l'aptitude à la production de poivrons à Madagascar pour les périodes 2030 (2015–2044) et 2050 (2035–2064) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.....	15
Figure 14 : Impacts prévus du changement climatique sur les rendements d'arachide à travers Madagascar pour les périodes de temps 2030 (2015–2044, court terme) et 2050 (2035–2064, moyen terme) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5 avec un CO <sub>2</sub> fixé à 350 ppm.....	17
Figure 15 : Impacts projetés du changement climatique sur les rendements d'arachide à travers Madagascar pour les périodes de temps 2030 (2015–2044, court terme) et 2050 (2035–2064, moyen terme) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5 avec des concentrations croissantes de CO <sub>2</sub> .....	17
Figure 16 : Rendements simulés en cacahuètes par an pour les variétés Kanety et Fleur 11 suite à une date de semis fixe selon le calendrier agricole. Les résultats sont une moyenne pour toute la Madagascar.....	19
Figure 17 : Rendements simulés des arachides par an avec des dates de semis fixes et flexibles, en moyenne à Madagascar.....	22

## Liste des abréviations

FIFAMANOR	Fiompiana Fambolena Malagasy Norveziana
FOFIFA	Centre National de Recherche Appliquée au Développement Rural
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
MEDD	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
MINAE	Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage
MEMM	La moyenne de l'ensemble multimodèle
ONG	Organisation non gouvernementale
PIB	Produit intérieur brut
PNA	Plan national d'adaptation
RCP	Representative Concentration Pathway
GPS	Groupes de Producteurs de Semences
CMS	Centres de Multiplication des Semences
SSP	Shared Socioeconomic Pathway



## 1. Introduction

Cette étude fournit une analyse approfondie des risques climatiques pour des systèmes de culture sélectionnés à Madagascar, ainsi que des recommandations et une évaluation des stratégies d'adaptation sélectionnées. De plus en plus de pays reconnaissent l'importance de l'adaptation dans un monde au climat changeant, mais ils manquent souvent d'orientations sur la manière de mettre en œuvre les objectifs d'adaptation. Le secteur agricole est particulièrement vulnérable au changement climatique, en raison de sa dépendance élevée à l'égard des facteurs climatiques. Les événements extrêmes et les événements à évolution lente menacent de plus en plus la production agricole et constituent un risque sérieux pour les moyens de subsistance agricoles, avec des répercussions en cascade sur la sécurité alimentaire et nutritionnelle. La faible capacité d'adaptation du secteur agricole, comme l'accès limité aux ressources, au crédit formel ou aux services de vulgarisation, accroît encore la vulnérabilité du secteur au changement climatique. En outre, lorsqu'il s'agit de s'adapter au changement climatique, la prise de décision se fait souvent à l'échelle locale. Cependant, les décideurs ne disposent souvent pas de toutes les informations nécessaires sur les risques climatiques spécifiques à leur région, les impacts potentiels et les avantages et obstacles des différentes options d'adaptation. Il est donc nécessaire de procéder à des analyses détaillées des risques climatiques, qui serviront de base à des décisions d'investissement éclairées par les risques et respectueuses de l'environnement au niveau local. Il est important de mieux comprendre les impacts climatiques prévus sur la production agricole, les risques climatiques associés et les avantages possibles de l'adaptation au niveau national et régional afin d'orienter, d'encourager et d'accélérer les investissements publics et privés en faveur d'un développement agricole résistant au climat.

Madagascar est confronté à des défis pour s'adapter à un climat volatile et changeant, en particulier dans son secteur agricole principalement pluvial. Les agriculteurs cultivent généralement de petites parcelles de moins d'un hectare<sup>1</sup>, allouant la majorité de leurs terres à la production de cultures de subsistance (Harvey et al., 2014). Néanmoins, les rendements agricoles restent toutefois faibles, ne répondant pas à la demande de leurs ménages et ne permettant pas de dégager des excédents à des fins commerciales. Environ 33 % de la population souffre d'insécurité alimentaire chronique, ce qui la rend extrêmement vulnérable aux chocs climatiques et non climatiques qui réduisent encore la production agricole et la disponibilité alimentaire (Fayad, 2023). Dans son Plan National d'Adaptation (PNA), Madagascar souligne la nécessité d'une planification de l'adaptation pour faire face aux risques liés au changement climatique (MEDD, 2021). Par conséquent, cette étude cherche à fournir une base pour des décisions d'adaptation éclairées par les risques pour la production de café, de vanille, de poivre et d'arachides, en abordant les questions suivantes :

- Comment les conditions climatiques à Madagascar devraient-elles évoluer jusqu'à la fin du siècle ?
- Comment ces changements climatiques influenceront-ils la production agricole de café, de vanille, de poivre et d'arachides à Madagascar ?
- Les options d'adaptation, avec des dates de plantation flexibles et la sélection de variétés adaptées localement, sont-elles efficaces pour faire face aux risques climatiques dans la production d'arachide ?
- Quels sont les défis liés au genre et les besoins de soutien pour la planification de l'adaptation à Madagascar ?

<sup>1</sup> Un hectare (ha) correspond à 100 are (a).

Les résultats peuvent aider les décideurs politiques nationaux et locaux, les acteurs du développement, le secteur privé et les agriculteurs à élaborer des plans d'utilisation des terres résilientes à long terme, des plans d'adaptation et des investissements.

## 1.1 Zone d'étude

Madagascar est un État insulaire d'Afrique de l'Est situé dans l'océan Indien (CIA, 2020). La population a dépassé les 28 millions d'habitants en 2021, avec un taux de croissance démographique annuel de 2,4 % (Banque mondiale, 2021a). La majorité des habitants vivent dans les hautes terres centrales autour de la capitale Antananarivo et le long de la côte orientale. Son économie est dominée par le secteur des services, qui a contribué à hauteur de 50,4 % au Produit Intérieur Brut (PIB) du pays en 2020, suivi par le secteur agricole avec 24,7 % et le secteur industriel avec 19,5 % (Banque mondiale, 2020). Le riz constitue de loin la culture la plus importante en termes de superficie récoltée, suivie par le manioc, les patates douces et le maïs (FAOSTAT, 2021). En outre, en 2021, Madagascar est le premier exportateur mondial de vanille et de clous de girofle (OEC, 2021). Bien que les services aient dépassé le secteur agricole, 74 % de la population est employée dans ce dernier et dépendant largement de l'agriculture pour maintenir la sécurité alimentaire et assurer les moyens de subsistance (Banque mondiale, 2021b). Parmi les exploitations agricoles du pays, les exploitations familiales représentent 99 %. Elles cultivent 95 % des terres et possèdent 97 % du cheptel (Sourisseau et al., 2014). Les exploitations familiales malgaches jouent donc un rôle déterminant dans l'économie du pays en générant entre 1/5 et 1/4 du PIB national et en employant près de 8 actifs sur 10. Enfin, ces exploitations familiales façonnent, gèrent et entretiennent le foncier à l'échelle du pays (Sourisseau et al., 2014). Cependant, la plupart de ces exploitations sont axées sur l'auto-subsistance et dépendent des précipitations (FAOSTAT, 2021) et sont donc très vulnérables aux effets croissants du changement climatique, notamment l'augmentation des températures, la diminution de la disponibilité de l'eau due aux modifications des schémas de précipitations et la multiplication d'événements climatiques extrêmes tels que les sécheresses, les cyclones et les inondations (Garruchet et al., 2023).



Figure 1 : Carte de Madagascar.

Pour les analyses de ce rapport, nous nous concentrons principalement sur les six régions Androy et Anosy (sud), Atsi-mo Atsinanana (sud-est) et Fitovinany, Vavovavy et Atsinanana (est) (Figure 1). Ces régions sont très vulnérables aux risques climatiques tels que les cyclones (côte est) et les sécheresses (régions du sud) (Rakotoarison et al., 2018). En plus, ces exploitations revêtent une importance significative pour la culture de produits de rente comme le café et la vanille, ainsi que d'autres produits cultivés pour assurer la sécurité alimentaire (Garruchet et al., 2023).

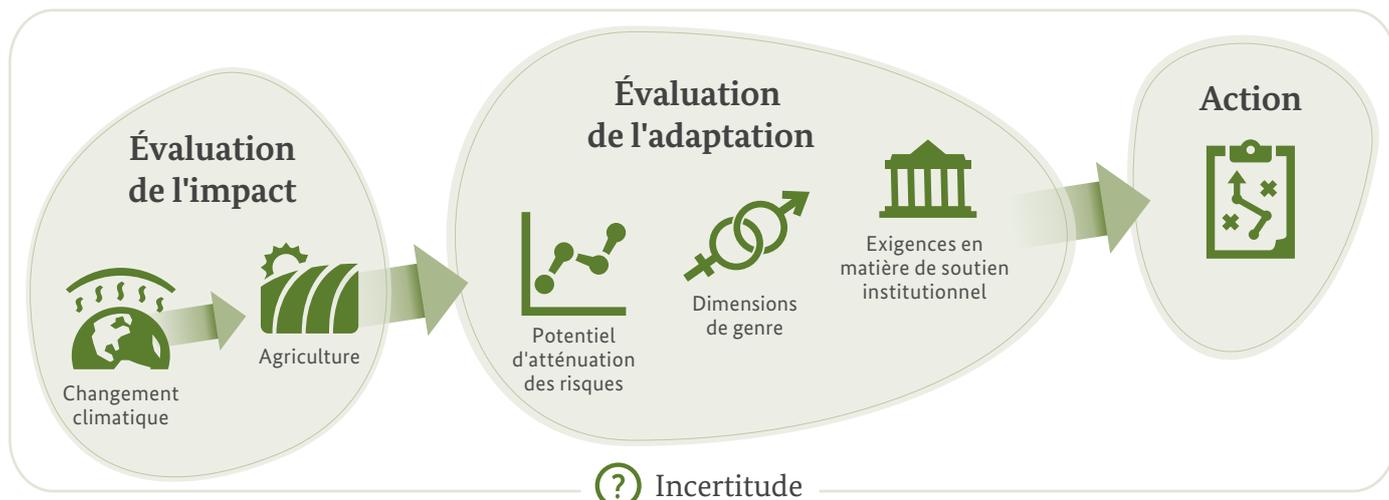


Figure 2 : La chaîne impact-action de l'analyse des risques climatiques.

## 1.2 Approche de l'étude

L'étude présente une analyse complète des risques climatiques afin d'approfondir la compréhension des risques climatiques actuels et prévus et de leurs impacts sur l'agriculture, ainsi que des bénéfices possibles de l'adaptation au niveau national et sous-national (local). L'ensemble de la chaîne, de l'impact du changement climatique à l'action, est abordé, comprenant des analyses spécifiques des options d'adaptation et des besoins de soutien (Figure 2).

L'objectif principal du rapport est d'améliorer la base de référence sur l'adaptation, ce qui peut aider à identifier les interventions appropriées pour une localité. En plus, le calendrier optimal des interventions ainsi que les conditions favorables et les obstacles à l'adaptation sont étudiés. Des cultures spécifiques et des options d'adaptation ont été sélectionnées pour restreindre l'objet de l'étude et fournir des résultats concrets pour informer la planification de l'adaptation climatique à long terme dans le sud et l'est de Madagascar. Le processus de sélection des cultures spécifiques et des options d'adaptation a pris en compte les priorités nationales et les critères de faisabilité (c'est-à-dire la compatibilité avec les analyses de modèles et la disponibilité des données). Ce processus a abouti à la sélection du café, de la vanille, du poivre et des arachides pour l'analyse des impacts du climat sur l'agriculture.

De plus, deux options d'adaptation ont été retenues : l'utilisation de variétés adaptées aux conditions locales et la flexibilité des dates de plantation. Ces deux options d'adaptation ont été sélectionnées en raison des coûts de mise en œuvre relativement faibles et des besoins limités en matière de formation spécialisée. Elles visent donc à fournir un accès à bas seuil à l'adaptation au changement climatique. Cependant, ces stratégies ne ne prétendent pas offrir des solutions miracles, mais doivent être interprétées comme deux possibilités dans le contexte plus large de la construction et la mise en place de systèmes agroalimentaires résistants au changement climatique.

Le rapport est structuré de la manière suivante : Le **chapitre 2** donne un aperçu des conditions climatiques actuelles de l'île et de leur évolution probable dans les régions du projet au cours des prochaines décennies. Le **chapitre 3** détaille les impacts du changement climatique sur l'adéquation de la production de café, de vanille et de poivre et montre les impacts du changement climatique sur les rendements des arachides. Le **chapitre 4** évalue les stratégies d'adaptation sélectionnées et leur capacité à atténuer les risques climatiques. Les stratégies d'adaptation sont également analysées en fonction de leurs avantages et défis en matière de genre, ainsi que des besoins en matière de soutien institutionnel. Le **chapitre 5** analyse les résultats et conclut le rapport.



## 2. Changement des conditions climatiques

Afin d'identifier les changements futurs des conditions climatiques à Madagascar, ce chapitre analyse plusieurs indicateurs concernant les variables liées à la température et aux précipitations dans le cadre de trois trajectoires socio-économiques partagées (Shared Socioeconomic Pathways, SSP). Ceux-ci représentent différents développements socio-économiques ainsi que différentes trajectoires de concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, appelées trajectoires de concentration représentatives (Representative Concentration Pathways, RCP). Le premier, SSP1-RCP2.6, représente un scénario de réduction des émissions, le SSP3-RCP7.0 un scénario d'émissions moyennes à élevées et le SSP5-RCP8.5 un scénario d'émissions élevées. De plus, amples informations sont disponibles dans l'Information Supplémentaire (section 1) du présent rapport.

Les conditions climatiques actuelles de Madagascar sont présentées ci-dessous (chapitre 2.1). Ceci est suivie par une esquisse des tendances climatiques futures des conditions climatiques moyennes annuelles et régionales (chapitre 2.2).

### 2.1 Climat actuel

Madagascar connaît deux saisons distinctes : une saison chaude et pluvieuse de Novembre à Avril, et une saison plus fraîche et sèche de Mai à Octobre. Le climat subéquatorial de la côte est influencé par les alizés de l'est, ce qui se traduit localement par les précipitations les plus importantes et les plus régulières du pays, atteignant jusqu'à 3 700 mm par an. À l'inverse, la côte ouest a tendance à être plus sèche et est sujette à une érosion côtière significative. Le sud-ouest et l'extrême sud sont des environnements semi-désertiques, recevant moins de 800 mm de précipitations par an. Le long de la côte, les températures moyennes annuelles varient entre 23 °C et 27 °C, tandis que

dans les montagnes centrales, elles varient entre 16 °C et 19 °C (CCKP, 2021). Les changements de précipitations observés jusqu'à présent sont faibles mais tendent vers l'assèchement plutôt que vers l'humidification. Cette tendance est recouverte par une variabilité interannuelle (naturelle) des précipitations.

### 2.2 Projections climatiques

Les changements climatiques sont projetés pour les six régions Androy et Anosy (sud), Atsimo Atsinanana (sud-est) et Fitovinany, Vatovavy et Atsinanana (est) du pays. Des informations sur la méthodologie de la projection climatique sont disponibles dans l'Information Supplémentaire (section 2) de ce rapport. Les changements projetés des températures moyennes annuelles pour ces six régions sont présentés dans la Figure 3.

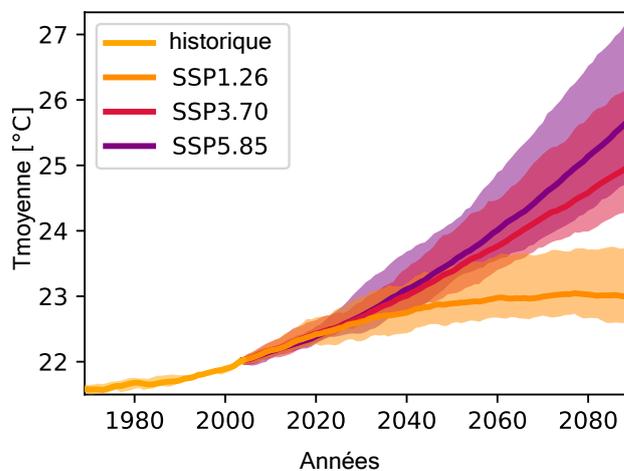


Figure 3 : Projection de l'évolution de la température moyenne par zone sur 21 ans pour les six régions Androy, Anosy, Atsimo Atsinanana, Vatovavy, Fitovinany et Atsinanana jusqu'en 2100 pour les modèles SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5. Les lignes représentent la valeur moyenne multi-modèle et les zones ombrées la gamme complète de l'ensemble de modèles.

Tous les scénarios de changement climatique prévoient des augmentations significatives de la température dans toutes les régions au cours du 21<sup>e</sup> siècle (Figure 3). Ce phénomène est évident dans tous les scénarios analysés, bien qu'à des degrés différents. Dans le cadre du scénario à faibles émissions SSP1-RCP2.6, la moyenne de l'ensemble multimodèle (MEMM<sup>2</sup>) indique une augmentation prévue de la température d'environ 0,7°C jusqu'en 2030 par rapport aux niveaux préindustriels et une stabilisation prévue des températures annuelles moyennes autour de 23°C à la fin du XXI<sup>e</sup> siècle. Dans le cadre du scénario SSP3-RCP7.0, qui prévoit des émissions moyennes à élevées, les températures devraient continuer à augmenter tout au long du XXI<sup>e</sup> siècle. D'ici 2030, les projections de la température moyenne indiquent une augmentation d'environ 0,8°C. Jusqu'en 2050, les augmentations de température prévues atteignent déjà 1,5°C. À la fin du siècle, les températures annuelles moyennes devraient avoisiner les 25°C.

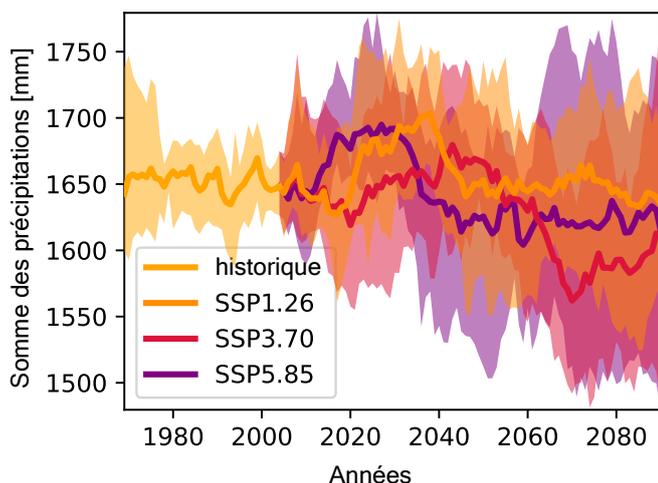


Figure 4 : Projection de la moyenne sur 21 ans du changement moyen régional des précipitations pour les six régions Androy, Anosy, Atsimo Atsinanana, Vatovavy, Fitovinany et Atsinanana jusqu'en 2100 pour SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5. Les lignes représentent la valeur moyenne multi-modèles et les zones ombrées représentent la gamme complète de l'ensemble des modèles.

Une forte augmentation des températures projetées peut être observée dans le cadre du scénario à fortes émissions, SSP5-RCP8.5, entraînant une augmentation projetée des températures annuelles moyennes de 1,6°C jusqu'en 2050, et des températures annuelles moyennes de près de 26°C d'ici à 2100 (Hampf et al., en préparation a). Les tendances en matière de précipitations sont beaucoup plus variables et plus incertaines que les projections de température (Figure 4). Cependant, une diminution des précipitations annuelles est prévue, en particulier pendant la période autour de 2050 (2035–2064) et dans les scénarios d'émissions moyennes à élevées (Figure 5). Il semble également que les fortes précipitations seront plus extrêmes (Hampf et al., en préparation a).

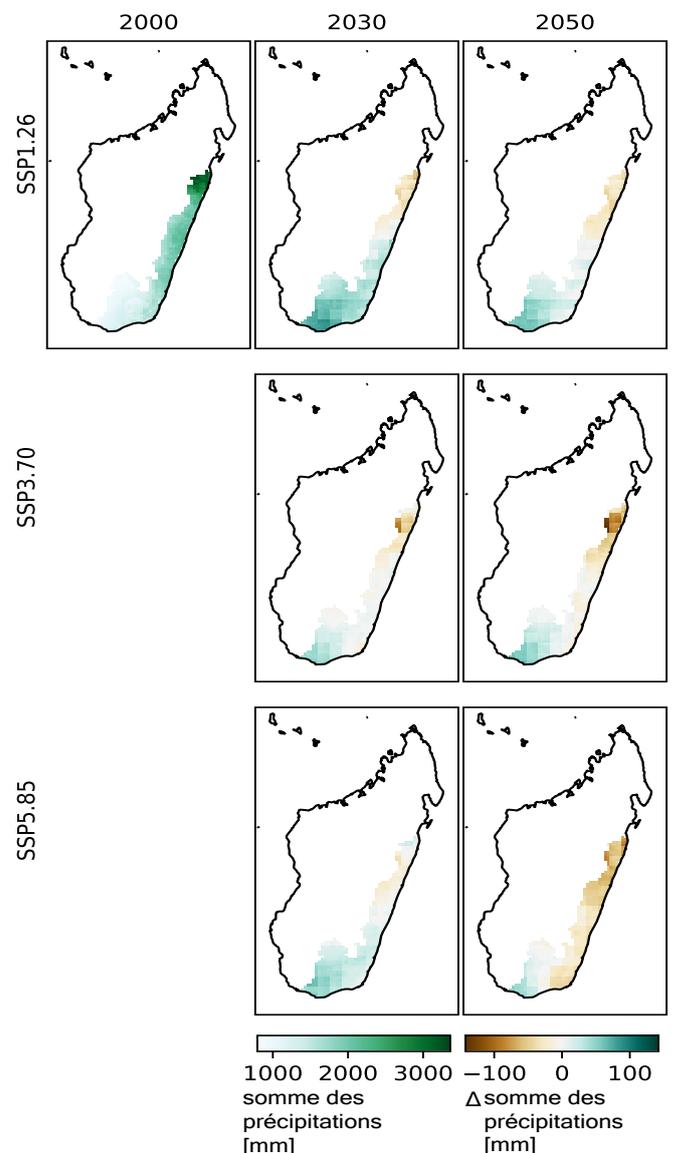


Figure 5 : Précipitations totales annuelles projetées pour les régions de projection à Madagascar pour la période de référence historique (1985–2014) (colonne de gauche), le changement entre la période de référence et 2030 (2015–2044) (colonne du milieu) et entre la période de référence et 2050 (2035–2064) (colonne de droite). La moyenne multi-modèle est présentée pour les différents scénarios de changement climatique (lignes du haut vers le bas).

2 La MEMM est une méthode utilisée pour créer une estimation plus robuste et plus fiable des conditions climatiques futures. Elle consiste à utiliser plusieurs modèles climatiques différents pour faire des prévisions, puis à calculer la moyenne de ces prévisions.



### 3. Impacts du changement climatique sur l'agriculture

Environ 62 % de la population malgache vit dans des zones rurales, où elle dépend principalement de l'agriculture de subsistance (CIA, 2020). Les petits exploitants agricoles sont toutefois particulièrement vulnérables aux chocs climatiques en raison de leur dépendance à l'égard de l'agriculture pluviale, de la superficie limitée des terres cultivables et du manque d'accès aux ressources et au financement pour se préparer et faire face aux événements extrêmes. (Harvey et al., 2014; Rakotobe et al., 2016). D'une part, les cultures peuvent réagir positivement à l'augmentation des concentrations de CO<sub>2</sub> due au changement climatique, mais d'autre part, la variabilité croissante des précipitations, l'augmentation de la variabilité des précipitations, des températures croissantes et la fréquence accrue d'événements extrêmes tels que les cyclones et les sécheresses peuvent réduire la production agricole (Gachene et al., 2015). Dans des conditions plus sèches, la prolifération des parasites est exacerbée. L'année 2021 a été marquée par l'apparition de criquets migrants, qui ont endommagé plus de 48 000 hectares de terres dans le sud du pays. En outre, une épidémie de chenilles légionnaires d'automne a entraîné des pertes de récoltes allant jusqu'à 60 % dans les zones gravement touchées (OCHA, 2021). En utilisant une analyse multi-modèle, Tomalka et al. (2021) ont trouvé que la proportion des terres cultivées à Madagascar affectées par au moins une sécheresse par an devrait augmenter. Alors que 0,4 % de la superficie nationale des terres cultivées était touchée en 2000, on prévoit que cette superficie passera à 1,4 % et 2,6 % d'ici 2080 dans le cadre des RCP2.6 et RCP6.0, respectivement.

Pour rendre ces chiffres plus tangibles, 2,6 % des terres cultivées nationales correspondent à environ 15 000 terrains de football de terres cultivées touchées par au moins une sécheresse par an. Les résultats descriptifs préliminaires d'une enquête représentative de plus de 600 ménages agricoles menée en avril et mai 2023 dans les trois régions Anosy, Androy et Atsimo Atsinanana, révèlent que 61 % des agriculteurs interrogés perçoivent que les conditions météorologiques ont changé par rapport aux 10–20 dernières années et que 91 % des personnes interrogées ont observé plus de sécheresses au cours des cinq dernières années qu'au cours des 10–20 dernières années (Weituschat et al., en cours de préparation). En raison des impacts du changement climatique, une modification des zones de production et des rendements appropriés est prévue pour certaines cultures. Dans les sous-chapitres suivants, nous présentons les résultats de l'analyse d'un modèle d'adéquation pour le café, la vanille et le poivre, ainsi que les impacts projetés du changement climatique sur les rendements des arachides. La performance du modèle d'adéquation EcoCrop a été testée par rapport aux données observées sur les superficies cultivées au niveau des districts entre 2005 et 2010. Pendant cette période, Vatovavy et Fitovinany formaient encore une seule région (Vatovavy-Fitovinany) et les résultats dans les sous-chapitres suivants seront donc présentés en fonction de l'ancienne division administrative.

### 3.1 Impacts du changement climatique sur les zones de production du café

Le café reste l'une des principales cultures de rente à Madagascar, bien que la superficie cultivée ait diminué de plus de moitié entre 1990 et 2005. De 2005 à aujourd'hui, la superficie consacrée à la culture du café est restée relativement stable à environ 100 000 ha, ce qui correspond à un sixième de la superficie totale des cultures permanentes à Madagascar. La superficie n'a diminué qu'en 2020/2021 en raison de la sécheresse (FAOSTAT, 2023). La Figure 6 montre les superficies moyennes récoltées en ha par district au cours de la période 2005–2010.

Les rendements du café ont constamment augmenté, passant de 0,35 t/ha dans les années 1990 à 0,55 t/ha en 2023 (FAOSTAT, 2023). A Madagascar, le café Robusta domine le paysage caféier et occupe 95 % des régions caféières du pays (MAEP, 2004). Il occupe toutes les zones de la côte Est de Sambava à Vangaindrano, y compris les zones de moyenne altitude jusqu'à 800 m (Ifanadiana), et la côte Nord-Ouest dans la région de Sambirano. En outre, elle s'étend le long de la côte nord-ouest dans les régions de Diana et de Sofia. Le café arabica se trouve sur les hauts plateaux à des altitudes de 1 000 à 1 500 m, de la région d'Ankaizina (Bealanana) au sud de Fianarantsoa (Ambalavao) (MAEP, 2004).

La modélisation de l'aptitude peut aider à identifier les régions les plus propices à une certaine culture en fonction de la température, des précipitations et des caractéristiques du sol. Elle permet également de mieux planifier l'utilisation des terres en montrant quelles régions sont susceptibles d'être plus ou moins affectées par le changement climatique. L'objectif du sous-chapitre suivant est d'évaluer l'adéquation de la production de café à Madagascar pour trois périodes différentes : le passé récent autour de l'année 2000 (1985–2014), le futur proche autour de 2030 (2015–2044) et le futur à moyen terme autour de 2050 (2035–2064). Pour atteindre cet objectif, le modèle EcoCrop (voir section 3 dans l'Information Supplémentaire) a été calibré sur les cultivars de café cultivés à Madagascar et exécuté avec des données climatiques passées et futures pour deux périodes et trois scénarios climatiques (voir chapitre 2). La Figure 7 montre l'adéquation modélisée de la culture du café Arabica et Robusta à Madagascar pour la période 2000, c'est-à-dire en moyenne sur la période 1985–2014.

Les résultats de la simulation montrent que la culture du café à Madagascar dans les conditions climatiques passées (1985–2014) était appropriée sur la côte est du pays, correspondant à la zone de climat tropical humide et aux basses terres, comme la partie nord de la région Atsimo Atsinanana, ainsi que les régions de Vatovavy, Fitovinany et Atsinanana. D'excellentes conditions environnementales pour la production de café n'ont été trouvées que dans le district d'Andapa dans la région de Sava et dans certaines parties de ses districts voisins, comme Maroantsetra dans la région d'Analanjirifo et Befandriana dans la région de

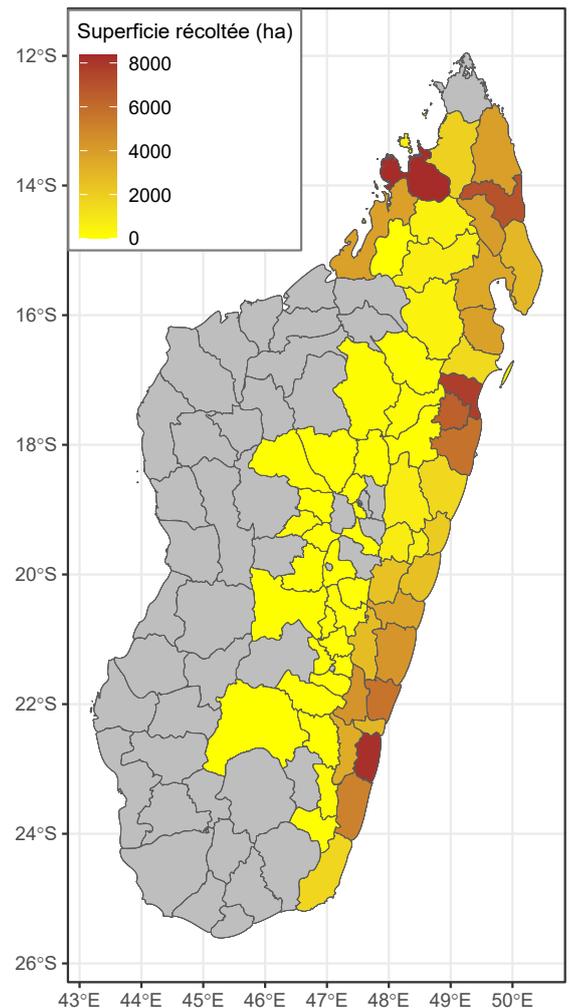


Figure 6 : Superficies moyennes de café récoltées en ha par district au cours de la période 2005–2010 (MINAGRI, 2010, 2012).

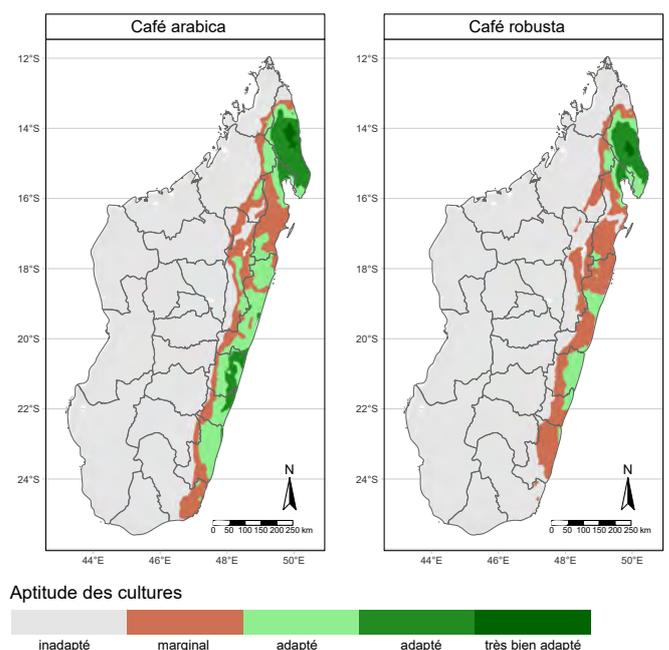


Figure 7 : Aptitude modélisée du café Arabica et du café Robusta à Madagascar pour la période 2000 (1985–2014).

Sofia. Les hauts plateaux, le sud et l'ouest du pays se sont révélés inadaptés à la production de café, principalement en raison des faibles précipitations et des températures froides (Hampf et al., en préparation a). Ceci est confirmé par les données du MINAGRI (2010, 2012), qui montrent que la production de café dans les hautes terres n'est que très marginale (Figure 6).

Une comparaison de l'adéquation simulée de la production de café Arabica dans les conditions climatiques passées et futures montre que les zones de production adéquates sont susceptibles de diminuer d'environ 7% dans tous les scénarios, à l'exception du scénario SSP1-RCP2.6 (faibles émissions) pour l'avenir proche. Cependant, il existe de grandes différences régionales. La diminution la plus élevée a été simulée pour les régions de Vatovavy et Fitovinany, suivies par les régions d'Atsinana et Analanjirifo avec des réductions d'environ 30%. Il est intéressant de noter que des augmentations (~10%) de l'adéquation ont également été prédites pour les hautes terres de Madagascar. Les différences entre les scénarios d'émissions étaient plutôt faibles (Figure 8). Les agriculteurs qui cultivent du café arabica devraient examiner attentivement dans quelle mesure la culture sera encore possible à l'avenir dans leur région. Ils devront peut-être se tourner vers d'autres espèces de café ou d'autres cultures.

Par rapport au café Arabica, l'aptitude agro-climatique du café Robusta est moins affectée par les changements climatiques. Lorsque l'on fait la moyenne pour l'ensemble de Madagascar, l'aptitude à la production du café Robusta reste presque stable ( $\leq 1\%$ ) dans tous les scénarios et périodes du SSP. Cependant, une fois de plus, il y a de grandes différences régionales. Alors qu'il est prévu que la côte est de Madagascar connaisse la plus forte diminution de l'aptitude, ceci est contrasté par des augmentations de l'aptitude dans l'intérieur du pays. La diminution a été simulée pour les régions d'Atsinana, Analanjirifo, Vatovavy et Fitovinany. Cependant, les projections du changement climatique indiquent également une amélioration de l'adéquation du café Robusta dans les régions de Vakinankaratra, Itasy et Analamanga. Néanmoins, ces régions n'atteindront pas le seuil d'aptitude requis pour la culture effective du café Robusta au cours de la période considérée (Figure 9, Hampf et al., en préparation b). En résumé, même si la culture du Robusta restera pratiquement inchangée au niveau national, au niveau local, les agriculteurs devront peut-être se demander si la culture du Robusta est encore suffisamment productive. Le passage à des cultures différentes ou, au minimum, l'ajustement des pratiques agricoles peuvent être conseillés aux agriculteurs des régions dont l'aptitude diminue.

Les résultats de l'analyse de l'aptitude du café confirment et complètent ceux de Bunn et al. (2014). Les auteurs ont constaté que le changement climatique est susceptible de réduire d'environ 50% la superficie mondiale adaptée à la production de café. Les impacts sont les plus élevés aux basses latitudes et aux basses altitudes, ce qui correspond aux conditions de

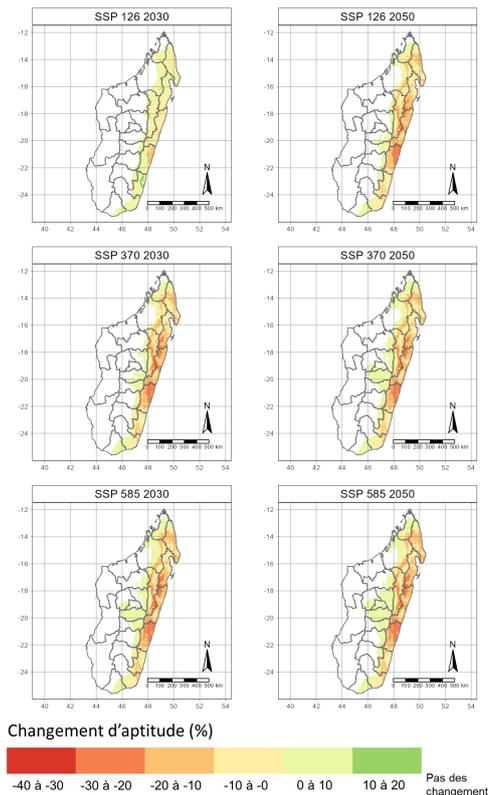


Figure 8 : Changement modélisé de l'aptitude du café Arabica à Madagascar pour les périodes 2030 (2015–2044) et 2050 (2035–2064) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.

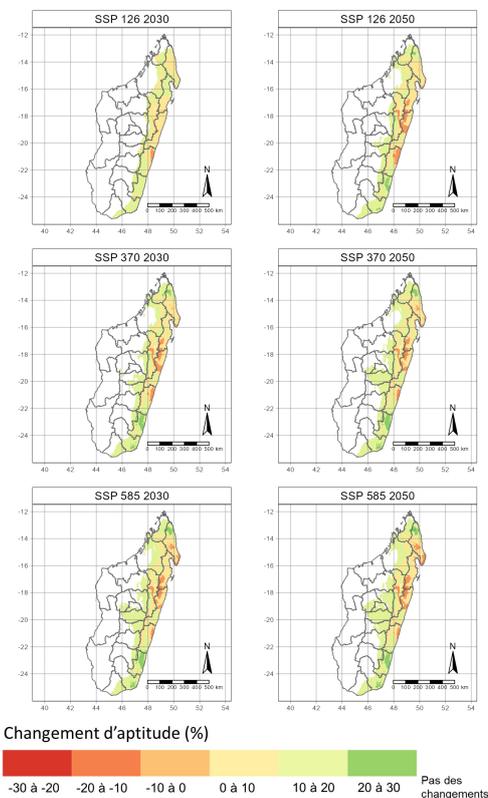


Figure 9 : Changement modélisé de l'aptitude du café Robusta à Madagascar pour les périodes 2030 (2015–2044) et 2050 (2035–2064) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.

culture à Madagascar. Les résultats descriptifs de l'enquête représentative sur les ménages agricoles montrent que dans l'Atsimo Atsinanana, 46 % des agriculteurs interrogés cultivent du café. Selon les résultats du modèle, certaines parties de la région pourraient connaître une augmentation potentielle de 20 % des terres propices à la culture du café Robusta, tandis que les terres propices à la culture du café Arabica pourraient diminuer de 20 % (Hampf et al., en préparation a). Cependant, l'enquête montre également qu'environ la moitié (48 %) de tous les ménages cultivant du café dans les deux régions d'Atsimo Atsinanana et d'Anosy considèrent que la dernière saison de culture du café a été moyenne ou mauvaise (Weituschat et al., en préparation). Les principales causes de perte de récoltes ont été signalées comme étant les vents forts/les tempêtes, les problèmes de pluie, les ravageurs/insectes, les problèmes de sol, les maladies et la sécheresse. Les résultats suggèrent que sans adaptation, le café pourrait ne pas être une source fiable de revenus à l'avenir. En revanche, la diversification des sources de revenus des caféiculteurs pourrait atténuer l'impact du changement climatique, ainsi que les fluctuations des prix du café.

### 3.2 Impacts du changement climatique sur les zones de production de vanille

Madagascar est le plus grand producteur mondial de vanille. L'orchidée a été introduite pour la première fois à Vatoman dry sur la côte est en 1891, puis dans la région nord-est de Sava (Grisoni & Nany, 2021). Aujourd'hui, 80% de l'approvisionnement mondial en vanille bourbon provient de la région de Sava (Hänke, 2020).

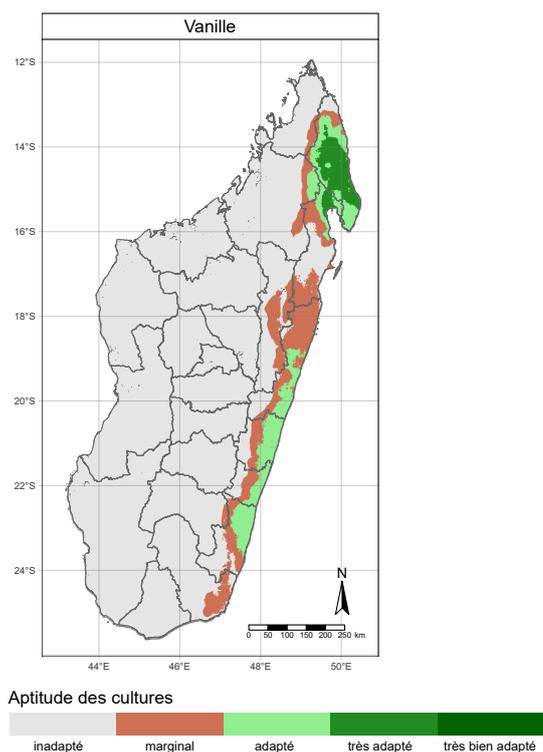


Figure 10 : Aptitude de la vanille à Madagascar pour la période 2000 (1985–2014).

La Figure 10 montre l'aptitude à la production de vanille à Madagascar pour la période 2000, c'est-à-dire en moyenne sur 1985–2014. La région de Sava présente un grand potentiel pour la culture de la vanille, suivie par les régions Atsinanana, Vatovavy, Fitovinany et Atsimo Atsinanana. Cependant, comme pour le café, les hauts plateaux ainsi que les régions du sud et de l'ouest de Madagascar sont estimés inadaptés à la production de vanille en raison d'une pluviométrie insuffisante et de températures fraîches.

La Figure 11 montre l'impact du changement climatique sur l'aptitude agro-climatique de la production de vanille à Madagascar, selon différents scénarios d'émissions et périodes. La vanille est la seule culture considérée dans ce rapport pour laquelle une augmentation de l'adéquation due au changement climatique est projetée. Moyennée sur l'ensemble de Madagascar, cette augmentation est plutôt faible avec 0,5–2,5 % par rapport à la surface cultivée simulée pour la période 2000 (1985–2014) et en fonction du scénario d'émissions. Il existe une tendance claire selon laquelle les gains d'aptitude dus au changement climatique devraient être moins prononcés dans les scénarios d'émissions les plus élevés. Une fois de plus, il existe des différences régionales notables. Les régions d'Atsimo Atsinanana et de Sava, qui ont été simulées pour être adaptées et très adaptées à la production de

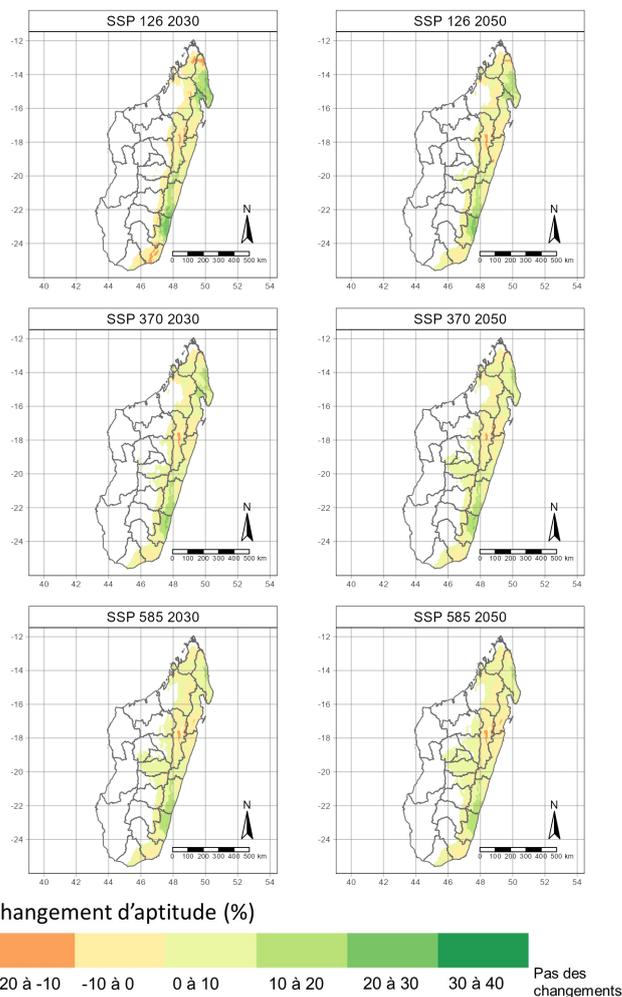


Figure 11 : Changement dans l'aptitude à la production de vanille pour les périodes 2030 (2015–2044) et 2050 (2035–2064) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.

vanille, respectivement, dans des conditions climatiques passées récentes, sont susceptibles de voir une nouvelle augmentation de l'aptitude. Il s'agit d'un résultat important, indiquant que les conditions climatiques permettront la culture de la vanille dans cette région de production majeure également à l'avenir (Hampf et al., en préparation a). Comme la vanille est une source de revenus importante à Madagascar, l'expansion de la culture dans les régions appropriées pourrait apporter des avantages économiques à de nombreux agriculteurs et pourrait donc être considérée comme une adaptation au changement climatique. Cependant, la forme de l'expansion doit être évaluée en termes de durabilité, c'est-à-dire, s'il s'agit de types d'utilisation des terres non brûlées (i.e., forêt ancienne, fragment de forêt, et agroforesterie de vanille dérivée de la forêt) ou de types d'utilisation des terres brûlées (i.e., agroforesterie de vanille dérivée de la jachère, jachère boisée, et jachère herbacée), par exemple (Raveloaritiana et al., 2021).

### 3.3 Impacts du changement climatique sur les zones de production du poivre

Le poivre est une culture de rente importante à Madagascar, avec une production nationale annuelle d'environ 2 200 tonnes (CTHT, 2023). Il est principalement produit sur la côte est de l'île. Les résultats de la modélisation de la convenance pour le poivre sont présentés dans la Figure 12. La Figure indique que les conditions de production du poivre dans les régions d'Androy, Anosy, Atsimo Atsinanana, Vatovavy, Fitovinany et Atsinanana étaient soit inadaptées, soit marginalement adaptées aux conditions climatiques historiques.

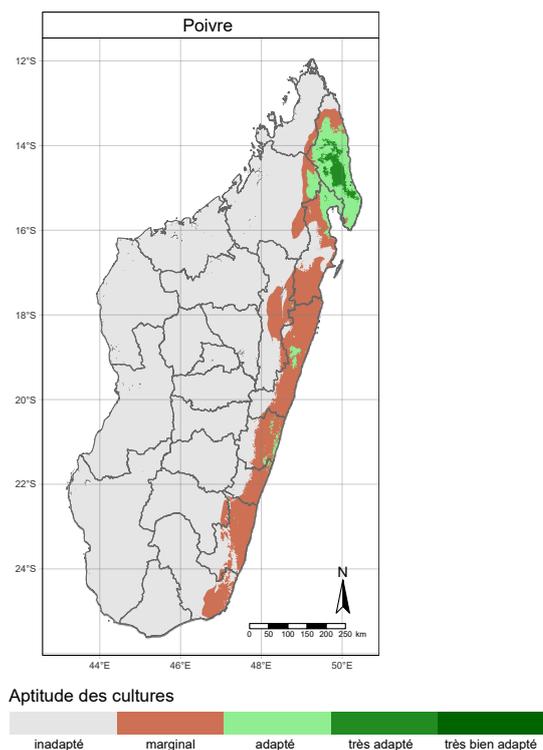


Figure 12 : Aptitude du poivre à Madagascar pour la période 2000 (1985–2014).

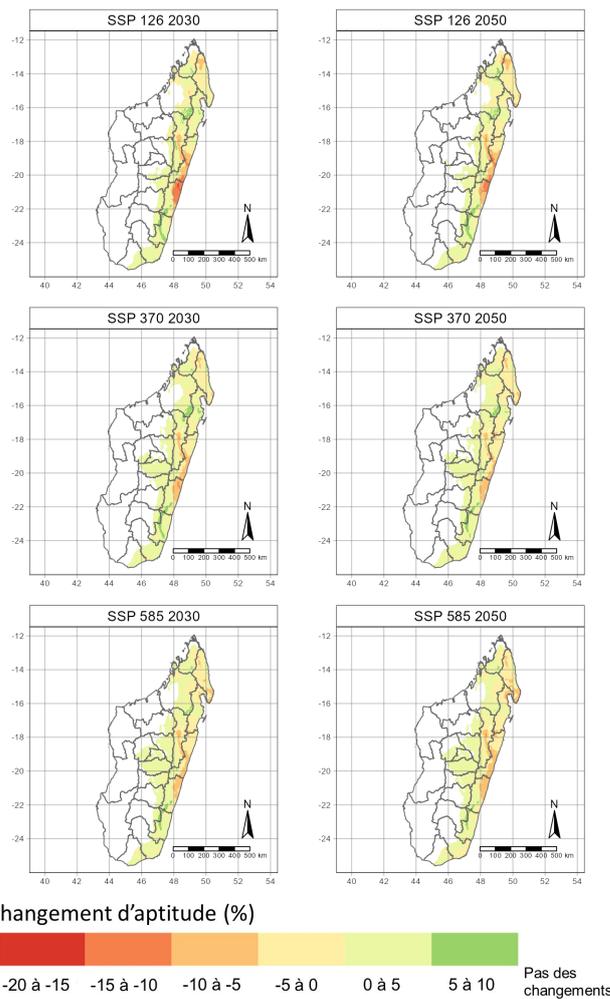


Figure 13 : Changement dans l'aptitude à la production de poivrons à Madagascar pour les périodes 2030 (2015–2044) et 2050 (2035–2064) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5.

Cependant, le changement climatique devrait avoir un impact plutôt faible sur l'adéquation agro-climatique de la production de poivrons à Madagascar. Si l'on fait la moyenne pour l'ensemble du pays, la diminution de l'aptitude est inférieure à 1%. Néanmoins, il existe des différences notables entre les régions et les scénarios. Dans le scénario d'émissions SSP1-RCP2.6, l'aptitude à la production de poivre est simulée pour diminuer jusqu'à 17% dans les régions de Vatovavy, Fitovinany et Atsinanana. Cette diminution est moins prononcée dans les autres scénarios d'émissions. D'autres régions, telles que Androy, Anosy et Atsimo Atsinanana, qui n'étaient pas adaptées ou seulement marginalement adaptées dans les conditions climatiques passées récentes, devraient connaître une augmentation de l'aptitude au poivre (Hampf et al., en préparation a). Certaines parties de l'Atsimo-Atsinanana pourraient donc devenir propices à la production de poivrons sous l'effet du changement climatique (Figure 13). Soutenir le développement de la culture du poivre dans ces zones pourrait aider les agriculteurs vulnérables à s'adapter au changement climatique, à condition que des pratiques agricoles et des conditions de commercialisation appropriées puissent être mises en place.

### 3.4 Impacts du changement climatique sur le rendement des arachides

Les arachides ont deux utilisations principales à Madagascar : la consommation des graines et la production d'huile comestible. Les graines et la pâte d'arachide sont appréciées pour leur saveur, et l'huile d'arachide est couramment utilisée pour la cuisson en raison de sa résistance à l'oxydation lors de la friture. Récemment, une demande croissante, tant au niveau national qu'international, notamment de la part de la Chine, a attiré l'attention des producteurs locaux et des investisseurs (Voahanginirina, 2020). La culture de l'arachide est prédominante dans la plupart des régions, à l'exception de certaines parties de la côte est, où les précipitations annuelles varient de 2 500 à 3 500 mm sur 200 à 250 jours, dépassant largement les conditions optimales de pluviométrie de 500 à 1 000 mm par saison de croissance. Les arachides ne sont pas non plus cultivées dans les zones de haute altitude dépassant 1 500 m, où les températures sont trop basses. De plus, dans la région extrêmement aride du sud, la culture de l'arachide est limitée par des précipitations annuelles de moins de 300 mm. L'augmentation des températures peut potentiellement entraîner la sécheresse et le stress thermique pour les arachides, surtout dans des conditions dépendantes de la pluie. Toutes les simulations de croissance de l'arachide décrites ci-dessous ont été réalisées avec le modèle basé sur les processus – APSIMX (voir Section 3 dans l'Information Supplémentaire) et exécutées pour trois périodes différentes : le passé récent autour de l'année 2000 (1985–2014), le futur proche vers 2030 (2015–2044) et le futur à moyen terme vers 2050 (2035–2064). Les simulations de croissance future des cultures ont été réalisées pour trois

scénarios d'émissions différents : faible (SSP1-RCP2.6), moyen à élevé (SSP3-RCP7.0) et élevé (SSP5-RCP8.5). En 2023, les niveaux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère ont atteint 424 ppm, soit plus de 50 % de plus qu'au début de l'ère industrielle, et on prévoit que les niveaux de CO<sub>2</sub> continueront d'augmenter si les humains continuent de brûler des combustibles fossiles pour l'énergie (NOAA Climate.gov, 2023). Comme les arachides sont très sensibles aux effets de la fertilisation au CO<sub>2</sub>, une comparaison de la croissance des cultures d'arachides a été réalisée sous deux conditions : l'une avec une concentration constante de CO<sub>2</sub> de 350 ppm et l'autre avec des concentrations de CO<sub>2</sub> en augmentation progressive. L'ampleur de l'augmentation de la concentration de CO<sub>2</sub> diffère selon le scénario d'émissions. Dans le scénario SSP1-RCP2.6, la concentration de CO<sub>2</sub> atmosphérique projetée pour l'année 2050 est d'environ 470 ppm, alors qu'elle est prévue d'atteindre environ 540 ppm dans le scénario SSP3-RCP7.0 et environ 563 ppm dans le scénario SSP5-RCP8.5.

Lorsque la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> est maintenue à 350 ppm, les résultats de simulation indiquent que les impacts du changement climatique sur les rendements d'arachide sont largement négatifs à travers Madagascar. Dans ce scénario, les rendements d'arachide sont projetés en baisse de 6 % en moyenne nationale. On prévoit que la diminution des rendements devienne plus importante avec des scénarios d'émissions plus élevés et également avec des horizons temporels plus longs. Alors que les baisses de rendement sont d'environ 3 % dans le scénario à



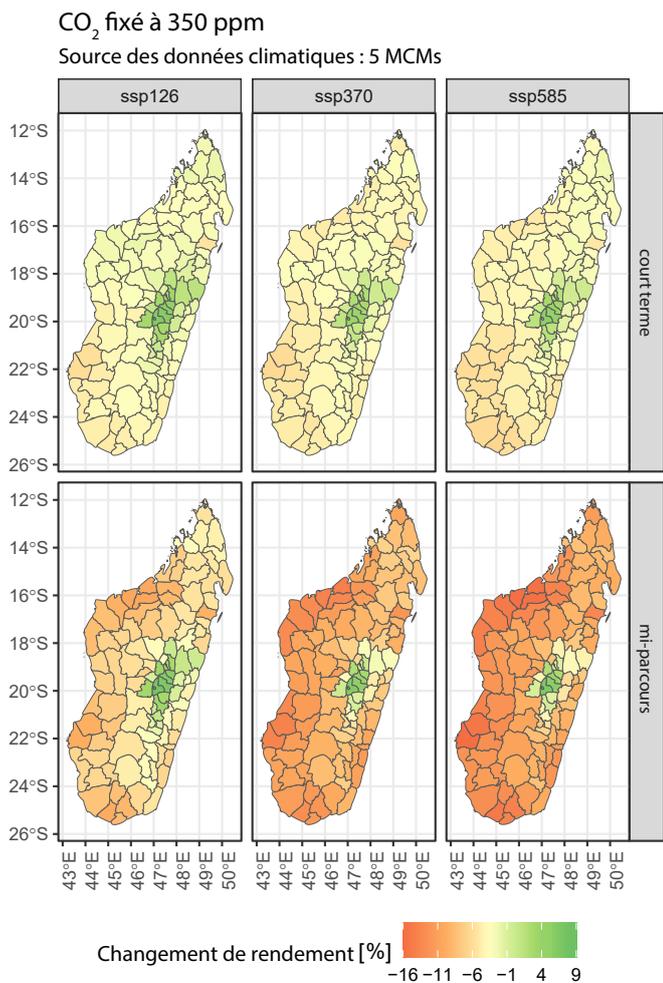


Figure 14 : Impacts prévus du changement climatique sur les rendements d'arachide à travers Madagascar pour les périodes de temps 2030 (2015–2044, court terme) et 2050 (2035–2064, moyen terme) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5 avec un CO<sub>2</sub> fixé à 350 ppm.

faibles émissions et à court terme, le déclin atteint 11% dans le scénario à fortes émissions et à moyen terme. Cependant, diverses différences régionales subsistent (Hampf et al., en préparation b). La Figure 14 montre l'impact du changement climatique sur les rendements d'arachide à travers Madagascar selon les trois différents scénarios d'émissions et deux périodes (proche futur, futur à moyen terme) avec une concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> fixée à 350 ppm. Il convient de noter que ce scénario est hypothétique car ces changements projetés dans le climat et leurs impacts ne peuvent pas se produire dans la réalité sans l'augmentation simultanée de la concentration de CO<sub>2</sub>. Cependant, la simulation de la variation des rendements d'arachide à différentes concentrations de CO<sub>2</sub> illustre le rôle important de l'effet de fertilisation par le CO<sub>2</sub>.

Lorsqu'on considère les concentrations prévues croissantes de CO<sub>2</sub> atmosphérique, le tableau est presque totalement inversé (Figure 15). Désormais, le changement climatique est projeté pour augmenter, plutôt que diminuer, les rendements de

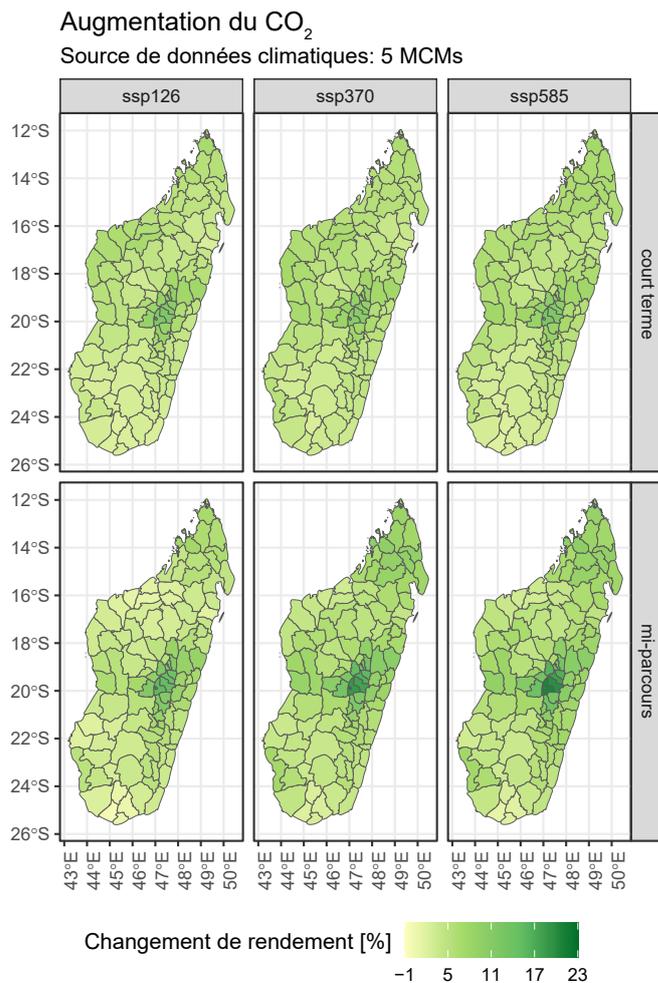


Figure 15 : Impacts projetés du changement climatique sur les rendements d'arachide à travers Madagascar pour les périodes de temps 2030 (2015–2044, court terme) et 2050 (2035–2064, moyen terme) selon les scénarios SSP1-RCP2.6, SSP3-RCP7.0 et SSP5-RCP8.5 avec des concentrations croissantes de CO<sub>2</sub>.

l'arachide de 5% à travers Madagascar, ce qui indique que l'effet de fertilisation au CO<sub>2</sub> est susceptible de compenser les impacts négatifs des températures croissantes et des précipitations en baisse. Au niveau national, l'augmentation des rendements varie légèrement selon les scénarios d'émissions et les périodes, allant d'une augmentation de 4,4% à moyen terme pour le scénario à faibles émissions à 6,4% à moyen terme pour le scénario à fortes émissions. Une fois de plus, il y a des différences régionales remarquables à prendre en compte. Alors que l'ouest et le sud de Madagascar sont projetés pour bénéficier le moins, la région de Vakinankaratra devrait connaître la plus forte augmentation des rendements, pouvant aller jusqu'à 23% (Hampf et al., en préparation b).

Ces résultats sont en accord avec ceux de Faye et al. (2018), qui ont également projeté des changements positifs sur les rendements de cacahuètes au Sénégal, allant de 2,4% à 8,3% pendant la saison sèche et des augmentations comprises entre 11% et 19% pendant la saison des pluies.



## 4. Stratégies d'adaptation

Les agriculteurs font face à l'incertitude des conditions météorologiques futures quotidiennement et sont des agents proactifs qui répondent à un environnement changeant. Cependant, les augmentations projetées de la variabilité climatique ont le potentiel de mettre à l'épreuve les capacités des agriculteurs et de créer des défis substantiels, notamment pour les petits agriculteurs vivant de subsistance (Crane et al., 2011).

Alors que le changement climatique se poursuit à Madagascar, certaines régions comme Vatovavy et Fitovinany sont susceptibles de connaître une diminution des terres propices à la culture de produits essentiels tels que le café et le poivre (voir chapitre 3). Pour faire face à cette situation, les agriculteurs devront mettre en place des mesures d'adaptation spécifiques à chaque région, allant de mesures d'intensification technologique, telles que l'utilisation durable d'engrais et l'amélioration des cultivars, à des mesures d'infrastructure, telles que la protection contre les inondations et la construction d'infrastructures résistantes aux cyclones, ainsi que des solutions d'adaptation basées sur la nature. Des exemples de ces dernières incluent l'ajustement des dates de plantation et des approches agroécologiques telles que la diversification agricole, les pratiques durables de gestion de l'eau et du sol, les systèmes mixtes culture-élevage ou l'agroforesterie (Berrang-Ford et al., 2021; Bezner Kerr et al., 2022). Outre ces options d'adaptation au niveau des champs, plusieurs mesures institutionnelles telles que les systèmes d'alerte précoce et les services climatiques peuvent également contribuer à la réduction des risques. Pour gérer les risques posés par le changement climatique dans l'agriculture, il existe différentes approches à considérer. Celles-ci incluent la diversification des moyens de subsistance ou la migration des membres de la famille vers différentes zones. Les agriculteurs

peuvent également renforcer leur capacité à s'adapter et à réduire les risques liés au climat en impliquant leur communauté dans les efforts d'adaptation au climat (Ensor et al., 2018) ou en utilisant des stratégies intégrées qui abordent à la fois l'adaptation et l'atténuation simultanément (Harvey et al., 2014). Étant donné la complexité des impacts climatiques, il est essentiel de combiner et d'intégrer ces différentes options d'adaptation tout en tenant compte de la situation locale, des différents secteurs et des aspects liés au genre.

Dans ce rapport, deux options d'adaptation pouvant contribuer à réduire les risques en agriculture sont analysées : la sélection de variétés adaptées localement et l'ajustement flexible des dates de plantation. Les deux mesures ont été sélectionnées car elles ont été identifiées comme des stratégies préférées par les petits agriculteurs (Magesa et al., 2023; Zeleke et al., 2023) et sont relativement faciles à mettre en œuvre, à condition que, par exemple, des semences améliorées soient accessibles et que les dates optimales de semis soient connues des agriculteurs et des agents de vulgarisation (Zeleke et al., 2023). Il est important de noter que ces deux options d'adaptation ne visent pas à fournir des solutions miracles, mais doivent être interprétées comme deux options possibles dans le contexte plus large de la construction de systèmes agroalimentaires résilients au climat.

Dans les sous-sections suivantes, nous évaluerons les deux stratégies d'adaptation en examinant leur impact sur les rendements des cultures dans des conditions climatiques changeantes, en utilisant la production d'arachide comme exemple. De plus, nous analyserons le soutien institutionnel nécessaire pour mettre en œuvre chaque stratégie efficacement et explorerons les facteurs spécifiques au genre qui y sont associés.

## 4.1 Sélection de variétés adaptées localement

Comme différentes variétés de plantes varient dans leur sensibilité à la température, le changement de variétés peut être une option d'adaptation utile pour les agriculteurs (Zabel et al., 2021). Les agriculteurs peuvent par exemple utiliser des variétés traditionnelles adaptées et des variétés locales, ou décider d'utiliser des graines améliorées commercialement. Les variétés locales ont tendance à présenter des niveaux élevés de variation génétique étroitement liée à la variation environnementale présente dans une région (Mercer et al., 2012). Leur succès ne dépend pas, par exemple, de la fréquence accrue des sécheresses résultant du changement climatique ou de leur caractère normal dans la variabilité climatique. La conservation locale et collective des variétés locales est une option d'adaptation robuste car elle donne aux petits exploitants la flexibilité de répondre aux changements futurs indépendamment des sources commerciales de graines améliorées (Vasconcelos et al., 2013). Cependant, l'utilisation de variétés améliorées commercialement, que ce soit pour les cultures annuelles ou pérennes, peut également soutenir une production agricole stable et fiable et jouer simultanément un rôle crucial dans l'atténuation des effets néfastes du changement climatique sur les systèmes agricoles. Les variétés améliorées peuvent présenter une tolérance accrue aux facteurs de stress abiotiques tels que la sécheresse (Fisher et al., 2015), une résistance accrue aux facteurs de stress biotiques tels que les maladies et les ravageurs, et une meilleure utilisation des nutriments. Ces caractéristiques permettent potentiellement une gestion agronomique plus efficace, y compris des cycles de croissance plus courts (González Guzmán et al., 2022; Voss-Fels et al., 2019). En minimisant les effets négatifs de l'augmentation des températures tout en augmentant la croissance des plantes en raison de concentrations élevées de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, les rendements peuvent souvent être accrus grâce aux variétés améliorées (Zabel et al., 2021). Les critères spécifiques et la définition des variétés améliorées peuvent varier en fonction de la législation de chaque pays et des accords internationaux

(ACTESA, 2014; Munyi, 2022). À Madagascar, les activités d'élevage et la production de semences de base sont réalisées par des centres de recherche tels que FOFIFA et FIFAMANOR (Randrianatsimbazafy, 2022). De plus, des semences de base de haute qualité présentant des caractéristiques génétiques souhaitables sont importées pour créer des semences certifiées, qui sont ensuite mises à disposition des agriculteurs à la vente. Pour la modélisation dans ce rapport, deux cultivars locaux d'arachide, à savoir la variété améliorée Fleur 11 et la variété traditionnelle Kanety, ont été ajoutés au module d'arachide dans APSIMX et comparés. Le cultivar Fleur 11 est considéré comme un cultivar plus tolérant à la sécheresse avec un cycle court d'environ 90 jours et est adopté dans tout le pays. Le cultivar Kanety est considéré comme un cultivar traditionnel bien adapté aux conditions locales et a une durée de cycle moyenne de 90 à 120 jours (IISD, 2022).

### 4.1.1 Les résultats de modélisation de Fleur 11 et Kanety sous différents scénarios climatiques

La Figure 16 montre les simulations d'APSIMX comparant l'utilisation des cultivars Kanety et Fleur 11 avec une date de semis fixe (le 10 novembre – plus d'informations sur les dates de semis peuvent être trouvées dans le chapitre 4.2). Les résultats montrent que les rendements moyens pour les deux cultivars augmentent dans des conditions de changement climatique, mais les rendements pour Kanety sont généralement plus élevés que ceux de Fleur 11. Les résultats de la simulation sont corroborés par les conclusions d'une expérience sur le terrain menée à Androy où le cultivar Kanety a également produit plus que le cultivar Fleur 11 (FOFIFA, 2022). Cette divergence pourrait potentiellement être attribuée au cycle de croissance plus court de Fleur 11, entraînant des tailles de grain plus petites. De plus, Kanety est traditionnellement adapté à Androy et est donc bien adapté aux conditions locales (FOFIFA, 2022).

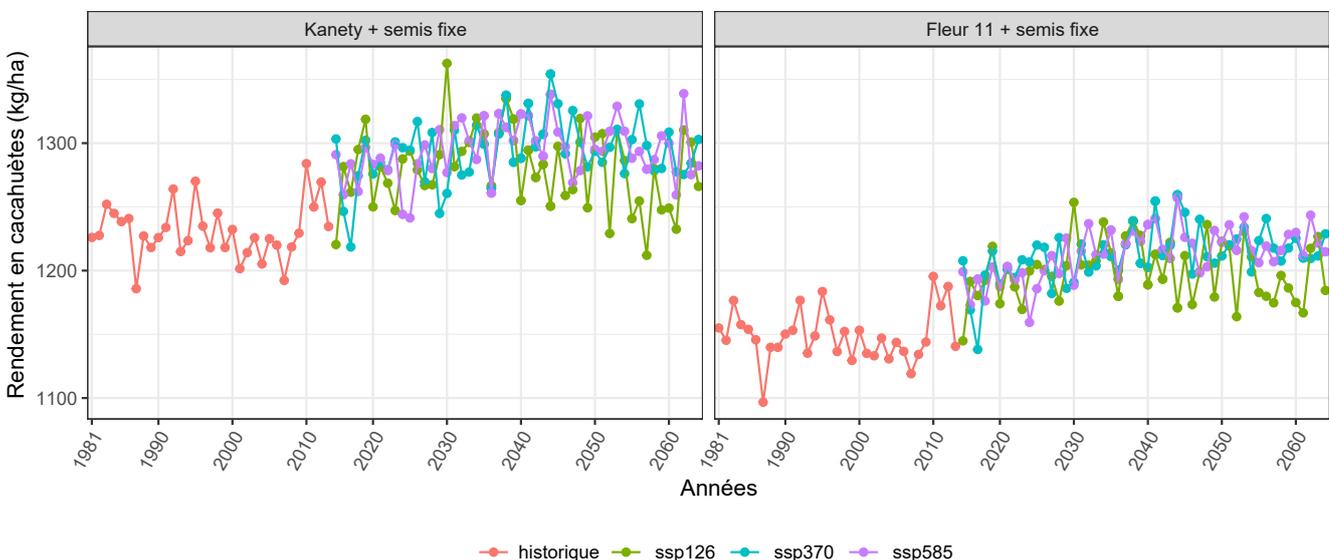


Figure 16 : Rendements simulés en cacahuètes par an pour les variétés Kanety et Fleur 11 suite à une date de semis fixe selon le calendrier agricole (MINAE, 2022). Les résultats présentés sont une moyenne pour toute la Madagascar.

Cependant, le cultivar Fleur 11 pourrait tout de même présenter des avantages pour les agriculteurs locaux. Par exemple, des rapports anecdotiques des techniciens de terrain de la GIZ suggèrent que le Fleur 11 est plus facile à écosser manuellement. De plus, le cycle court du Fleur 11 est bénéfique lorsqu'il est utilisé en rotation avec d'autres cultures où une récolte précoce de la première culture est essentielle pour permettre deux récoltes par saison. En général, les variétés résistantes à la sécheresse peuvent être considérées comme une stratégie de couverture pour les petits agriculteurs. Une expérience sur le terrain menée par Berchie et al. (2012) a montré que certaines variétés tolérantes à la chaleur produisent toujours des rendements même dans des conditions de sécheresse sévère, là où d'autres variétés pourraient échouer complètement, et pourraient donc contribuer à la sécurité alimentaire des agriculteurs dans des conditions plus extrêmes. Nos résultats montrent que les deux variétés ont des avantages et des inconvénients. Dans l'ensemble, la variété Kanety est censée donner des rendements plus élevés que le Fleur 11 dans les conditions de changement climatique à Madagascar. Néanmoins, il est important de bien considérer quelle variété utiliser, en tenant toujours compte des conditions et des préférences locales.

#### 4.1.2 Dimensions de genre de l'utilisation de variétés adaptées

La signification des différences de genre dans l'agriculture ne devrait pas être sous-estimée, car les agriculteurs masculins et féminins font souvent l'expérience d'un contrôle inégal et d'un accès inégal aux ressources productives essentielles (Quisumbing et al., 2014). Cette disparité est particulièrement évidente parmi les petits exploitants agricoles, où les rôles, responsabilités et l'accès aux ressources liés au genre peuvent varier considérablement. L'introduction de nouvelles variétés de plantes peut avoir des effets considérables sur la répartition des charges de travail, des ressources et du pouvoir de décision entre les petits exploitants agricoles masculins et féminins dans les pays à faible revenu (FAO, 2011). Par conséquent, les producteurs masculins et féminins font souvent des choix distincts concernant les cultures et les variétés qu'ils cultivent. Les préférences spécifiques au genre pour les caractéristiques des cultures sont souvent liées aux activités agricoles et domestiques spécifiques pour lesquelles les individus sont responsables (Weltzien et al., 2019). Par exemple, les variétés améliorées de maïs qui nécessitent des temps de cuisson plus longs, nécessitant ainsi plus de bois de chauffage et de main-d'œuvre féminine, étaient moins préférées par les femmes (Hellin et al., 2010). Les femmes d'Afrique de l'Ouest, principalement responsables des récoltes de riz, préfèrent spécifiquement les variétés de riz à croissance élevée pour faciliter la récolte (Gridley, 2002).

De plus, les femmes accordent souvent la priorité à des caractéristiques liées à la sécurité alimentaire, telles que la

résistance aux ravageurs de stockage, d'autres résistances des plantes hôtes aux pathogènes et aux ravageurs, la précocité et les récoltes multiples, plus que les hommes. Les femmes peuvent également identifier des produits récoltables, autres que le grain, tels que les feuilles pour l'alimentation et les tiges pour le bois de chauffage, comme étant importants (Weltzien et al., 2019). En plus des préférences de traits variables, les agriculteurs et agricultrices rencontrent également différentes barrières dans l'adoption de nouvelles variétés de plantes. Une étude d'Alhassan et al. (2018) a révélé que les agricultrices de riz au nord Ghana percevaient l'utilisation de variétés améliorées comme très efficace pour s'adapter au changement climatique. Cependant, cette stratégie impliquait des coûts que la plupart des agricultrices de la région étudiée ne pouvaient pas se permettre. Le coût élevé et l'inaccessibilité des semences améliorées ont été signalés comme des contraintes importantes pour les agricultrices. Selon Amoah et al. (2021), le principal obstacle pour les femmes, en dehors des coûts élevés, était le faible accès aux facilités de crédit. Les agricultrices percevaient plus fréquemment ces deux contraintes comme des obstacles importants à l'adoption de nouvelles variétés de cultures par rapport à leurs homologues masculins. Bien que l'importance de différencier les préférences des utilisateurs en fonction du genre soit de plus en plus reconnue, l'intégration systématique des préférences différenciées par genre dans les programmes de sélection reste limitée (Weltzien et al., 2019). Il est important de noter cependant que les préférences pour les caractéristiques ne correspondent pas nécessairement aux divisions traditionnelles du travail entre hommes et femmes. De plus, de telles préférences pour les caractéristiques ne sont pas fixes dans le temps et sont susceptibles d'évoluer avec les droits et responsabilités des femmes (Weltzien et al., 2019).

#### 4.1.3 Exigences de soutien institutionnel

Dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, l'industrie des semences est encore en développement. Au cours des dernières décennies, Madagascar a produit de nombreuses variétés nouvelles et plus performantes avec des caractéristiques telles qu'une meilleure valeur nutritionnelle et une tolérance accrue à la sécheresse, à la résistance au gel, ou à la maturité précoce. Le pays a mis en place ses propres programmes de sélection et a instauré un processus formel de mise sur le marché des variétés, soutenu par un cadre politique et réglementaire (Ariga et al., 2019). Cependant, la mise en œuvre effective de ces cadres fait face à des obstacles tels qu'une faible application des réglementations en matière de semences, des ressources insuffisantes et une coordination déficiente entre les institutions chargées de superviser le secteur des semences (Komen & Wafula, 2021). En conséquence, certaines variétés de cultures disponibles sur le marché existent depuis plus de 15 ans, telles que les variétés de maïs et d'arachide (Ariga et al., 2019). La multiplication des semences pour les agriculteurs est réalisée à travers des Centres de Multiplication des Semences (CMS) et des

Groupes de Producteurs de Semences (GPS). La distribution des semences se fait à travers des boutiques locales, qui agissent en tant que détaillants ou distributeurs de semences. La majorité des entreprises semencières et des revendeurs agricoles sont stratégiquement situés dans des régions avec des activités agricoles intenses, telles qu'Antananarivo, Antsirabe, Marovoay, Ambatondrazaka et Fianarantsoa. Cependant, pour les petits exploitants, la distance moyenne jusqu'à un revendeur agricole est d'environ 70 km (Randrianatsimbazafy, 2022). La combinaison de ces facteurs conduit à une grande partie des agriculteurs qui dépendent encore des variétés pollinisées ouvertes issues des récoltes précédentes. Outre les faibles liens entre la production et la distribution de semences, ils sont confrontés à d'autres défis liés à l'adoption de nouvelles variétés de cultures, tels que la disponibilité limitée, le manque de connaissances, les coûts élevés et l'aversion au risque (Ariga et al., 2019). L'adoption de semences améliorées est donc souvent limitée aux agriculteurs innovants aidés par des ONG et par un réseau de revendeurs agricoles (Ariga et al., 2019).

En conséquence, un soutien institutionnel pourrait améliorer l'accès aux variétés adaptées localement et la connaissance à leur sujet, en renforçant l'accès aux infrastructures de distribution pour réduire la distance par rapport aux centres de distribution de semences et ainsi faciliter l'accès aux semences adaptées. De plus, une meilleure communication et collaboration entre les parties prenantes du secteur des semences sont essentielles pour améliorer la diffusion des semences et surmonter les défis techniques (OCDE, 2021). Les résultats de ce rapport mettent en lumière les avantages des cultivars traditionnels, généralement mieux adaptés au stress abiotique que les cultivars modernes (Mohammadi et al., 2014). Soutenir leur culture peut entraîner des avantages pour faire face au changement climatique, notamment si la demande des consommateurs augmente. Par conséquent, les politiques et les activités de mise en œuvre devraient reconnaître et mettre en évidence l'intérêt des variétés

locales, car certains agriculteurs rapportent également une préférence pour les variétés traditionnelles de landrace (Ariga et al., 2019). La préservation des traditions locales, des pratiques agronomiques et des connaissances associées est cruciale, et de tels efforts de conservation peuvent être institutionnalisés grâce à des projets de conservation in situ, des banques de semences locales, des collaborations avec des banques de gènes nationales ou internationales, ainsi que des foires de la diversité (Röhrig et al., 2021). En ce qui concerne les semences améliorées, les simulations de modèles dans ce rapport suggèrent que les stratégies d'élevage axées sur le développement de variétés de cultures ayant une forte réponse à la hausse du CO<sub>2</sub> sont les plus prometteuses. L'élevage en vue d'une amélioration de l'efficacité photosynthétique et de l'utilisation de l'eau est une stratégie clé pour maximiser les avantages du CO<sub>2</sub> élevé. Enfin, qu'il s'agisse de semences traditionnelles ou de semences améliorées utilisées localement, il est important de soutenir les groupes marginalisés et de reconnaître leurs besoins afin d'améliorer la résilience climatique pour également les petits agriculteurs.

## 4.2 Dates de plantation flexibles

Dans le domaine des stratégies de gestion agricole, le moment de la plantation est reconnu comme un facteur crucial influençant la productivité agricole. Planter les cultures plus tôt dans la saison de plantation a le potentiel d'augmenter significativement l'accumulation de matière sèche et d'améliorer les rendements des cultures par rapport aux périodes de plantation normales (Bannayan et al., 2013). Cependant, semer les cultures trop tôt pourrait entraîner un échec des récoltes (Laux et al., 2010). À l'inverse, le semis tardif fait référence à la plantation des cultures après la saison de plantation traditionnelle ou lorsque celle-ci est retardée, par exemple jusqu'à ce que les risques graves aient disparu. Bien que le semis tardif présente quelques avantages pour la production de cultures, tels que l'évitement du stress hydrique pendant les premiers stades de croissance, en raison



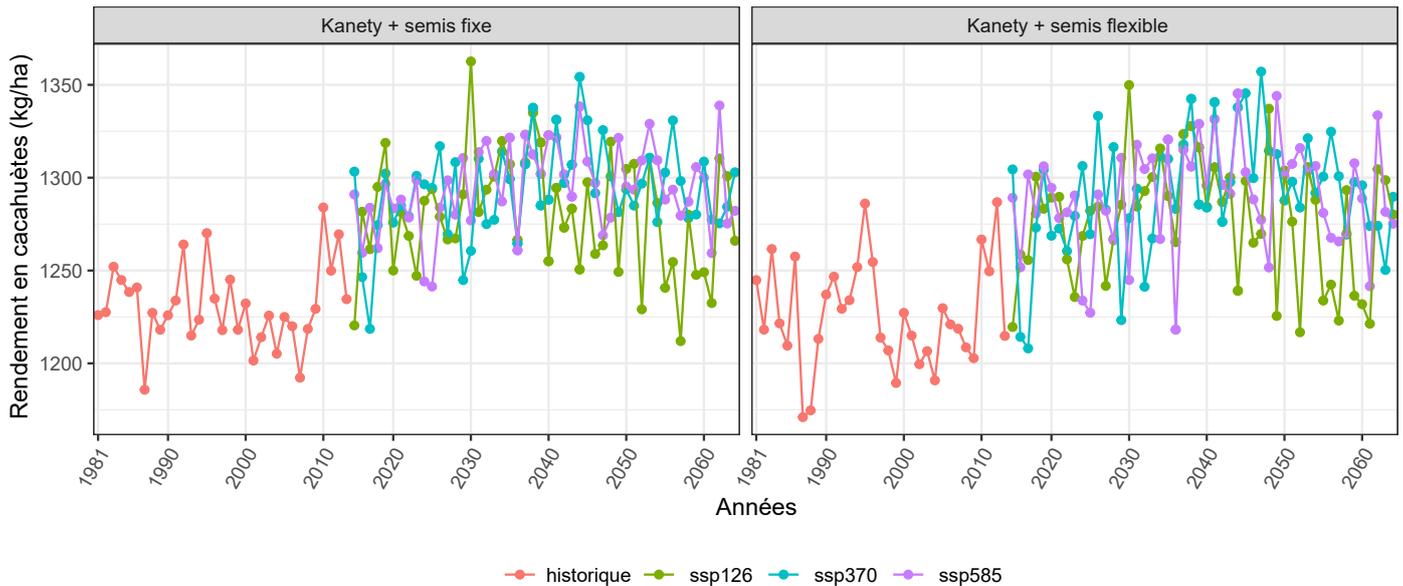


Figure 17 : Rendements simulés des arachides par an avec des dates de semis fixes et flexibles, en moyenne à Madagascar.

d'une disponibilité accrue en eau (Bannayan et al., 2013), il existe également des inconvénients potentiels. Planter des cultures tardivement peut réduire le temps précieux de croissance des cultures et, par conséquent, diminuer les rendements. De plus, un semis tardif pourrait retarder ou réduire le démarrage et la maturité des cultures, les exposant à des températures plus élevées pendant la maturation et augmentant le risque de précipitations rares dans les dernières étapes de la croissance des cultures (Buddhaboon et al., 2011). Le choix du moment optimal de semis dépend de divers facteurs, notamment des conditions climatiques locales, des variétés de cultures et des techniques culturales (Kruger, 2016). Plusieurs chercheurs ont montré que le changement de la date de semis de différentes cultures peut être une bonne solution pour améliorer les rendements face aux impacts du changement climatique (Desiraju et al., 2010; Waha et al., 2013; Yegbemey et al., 2014). Adapter la date de semis pour coïncider avec la principale saison des pluies est une stratégie employée par les agriculteurs pour atténuer les effets néfastes du changement climatique sur les rendements des cultures, et cette pratique est déjà répandue dans divers pays, tels que l'Éthiopie, l'Afrique du Sud et l'Inde (Waha et al., 2013). Des études de simulation menées au Cameroun ont révélé que des dates de plantation optimales permettent d'obtenir des rendements plus élevés en maïs et en arachide par rapport aux dates de plantation traditionnelles, en tenant compte des changements climatiques potentiels (Laux et al., 2010; Tingem & Rivington, 2009). Modifier les dates de plantation des cultures peut augmenter les rendements, et certains agriculteurs à Madagascar ont déjà signalé qu'ils géraient les calendriers de plantation pour éviter les périodes à risque (Delille, 2011; Kruger, 2016). Une étude menée par Kruger (2016) a révélé que 34 % des agriculteurs malgaches ayant participé à l'étude ont adopté une plantation précoce avant la saison de plantation traditionnelle. Bien que ces agriculteurs évitent généralement les plantations tardives en raison des

risques associés, environ 61 % d'entre eux ont convenu que la plantation après les inondations pour utiliser l'humidité résiduelle est également une technique précieuse.

#### 4.2.1 Les résultats de modélisation des dates de plantation flexibles selon différents scénarios climatiques

Dans ce rapport, les dates de semis et les règles de semis sont définies conformément au calendrier agricole des arachides pour la saison de croissance 2022–2023 (MINAE, 2022), qui fournit des informations sur les périodes de semis recommandées pour les principales régions de culture à travers le pays. Le calendrier indique que les arachides sont principalement plantées entre le 1er novembre et le 30 décembre. Des dates de semis flexibles ont donc été définies, avec la plantation ayant lieu pendant cette période et étant déclenchée dès qu'au moins 25 mm de pluie sont tombés en cinq jours. Dans les simulations avec une date de semis fixe, le 10 novembre a été pris comme moment de plantation. Sur la base des données d'expériences sur le terrain, l'espacement des rangs a été fixé à 50 cm et l'espace entre les plantes à 25 cm, ce qui donne une densité de plantation de huit plantes par m<sup>2</sup> (FOFIFA, 2022). On a également supposé que les arachides sont exclusivement irriguées par la pluie.

Les résultats du modèle APSIMX indiquent que l'utilisation de dates de plantation flexibles sous des conditions de changement climatique entraîne des rendements similaires à ceux obtenus avec des dates de plantation fixes. Les rendements simulés pour un scénario avec des dates de plantation fixes et pour un scénario avec des dates de plantation flexibles atteignent en moyenne 1 280 kg/ha. Cependant, les rendements présentent une variabilité légèrement accrue avec l'utilisation de dates de plantation flexibles, ce qui suggère que la règle de semis choisie pourrait entraîner des conditions de croissance suboptimales.



Dans les simulations de cette étude, l'arachide est cultivée pendant la saison des pluies. La durée de la saison des pluies à Madagascar est de quatre mois (novembre – mars), de sorte que les deux variétés, Kanety et Fleur 11, ont suffisamment de temps pour mûrir sans être exposées au stress hydrique. Au début de la croissance, les besoins en eau des plantes sont encore très faibles, donc même si la saison des pluies commence tardivement, les plantes ne seront pas exposées au stress hydrique. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre l'effet des dates de semis sur la physiologie des plantes, et la relation entre la physiologie des plantes et la température de croissance.

#### 4.2.2 Dimensions de genre sur l'utilisation de dates de plantation flexibles

Des études antérieures ont constaté que l'ajustement des dates de plantation est l'une des stratégies d'adaptation au climat les plus fréquemment adoptées par différents types d'agriculteurs à travers l'Afrique (cf. Alhassan (2019), Arimi (2014), Belay et al. (2017), Bryan et al. (2013) et Solomon & Edet (2018)). Plusieurs études se sont penchées sur la dimension de genre de cette option d'adaptation et ont découvert que les ménages dirigés par des hommes et par des femmes ajustent leurs dates de plantation en fonction des changements environnementaux (Adzawla et al., 2019; Assan et al., 2018; Kristjanson et al., 2017). Cependant, certaines études constatent également une corrélation positive entre le genre et l'ajustement des dates de plantation. Une étude menée par Maja et al. (2023), réalisée dans l'est de l'Éthiopie, a révélé que les ménages dirigés par des

hommes présentaient une probabilité plus élevée d'ajuster leurs dates de plantation par rapport à ceux dirigés par des femmes. Cette préférence a principalement été attribuée au fait que les hommes étaient plus activement impliqués dans les activités agricoles, ce qui leur procurait de meilleures connaissances sur le changement climatique et les avantages de l'adoption de technologies adaptatives, facilitant ainsi le processus d'adoption. De plus, l'étude a montré que le niveau d'éducation, l'accès à l'information et aux services d'extension, ainsi que le revenu agricole, influençaient l'adoption de dates de plantation flexibles. Ces caractéristiques socio-économiques peuvent également se croiser avec le genre des agriculteurs et renforcer davantage les inégalités. De manière correspondante, Ali et al. (2020) et Deressa et al. (2009) ont découvert une tendance similaire au Togo et en Éthiopie, respectivement, où les ménages dirigés par des hommes présentaient une probabilité plus élevée d'ajuster les dates de plantation en tant que stratégie d'adaptation par rapport à leurs homologues dirigés par des femmes. En revanche, Alhassan et al. (2019) ont conclu que dans leur étude au nord du Ghana, les femmes présentaient une probabilité plus élevée d'adapter les dates de plantation. Selon les auteurs, cela s'explique par le fait que les femmes sont plus vulnérables aux changements climatiques et donc plus susceptibles d'utiliser des mesures d'adaptation. L'accès au crédit a été découvert comme ayant une influence positive sur le changement des dates de plantation par les agricultrices de la région du Haut-Ouest du Ghana (Owusu & Yiridomoh, 2021). De plus, il a été constaté que la disponibilité de services de vulgarisation agricole pour les agricultrices renforçait leur capacité à acquérir des connaissances pour répondre efficacement aux changements

climatiques en ajustant les dates de plantation (Maja et al., 2023). Dans de nombreux pays d'Afrique subsaharienne, les agricultrices rencontrent des difficultés d'accès aux services de vulgarisation agricole en raison de facteurs tels que le déséquilibre entre les agents de vulgarisation agricole selon le genre et les antécédents culturels ou religieux de ces agents. Dans certaines communautés africaines, les agricultrices deviennent plus accessibles lorsque le contact est établi par le biais d'individus partageant des antécédents culturels ou religieux similaires aux leurs (Owusu & Yiridomoh, 2021).

### 4.2.3 Exigences de soutien institutionnel

Les résultats de ce rapport mettent en évidence que les calendriers agricoles sont un outil important qui fournit des informations opportunes sur la production locale de cultures aux agriculteurs. Les calendriers agricoles 2022–2023 (MINAE, 2022) ont été lancés sous forme écrite avec des tableaux, en malgache et en français, ainsi qu'en enregistrements vocaux afin qu'ils puissent être distribués dans les zones éloignées, via des canaux tels que le réseau Airtel et d'autres services mobiles (Orange actu Madagascar, 2022). Afin de réagir aux conditions climatiques changeantes, le Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage, l'institut de recherche FOFIFA et le Ministère des Transports et de la Météorologie prévoient de développer un calendrier agricole innovant pour la saison 2023–2024, intégrant des prévisions météorologiques précises et des stratégies d'adaptation (L'Écho du Sud, 2023). Les résultats de l'enquête auprès des ménages de Weituschat et al. (en préparation) révèlent que 14,9% des 624 ménages dans les trois régions d'Atsimo Atsinana, d'Anosy et d'Androy ont reçu des informations ou des conseils sur les pratiques agricoles générales au cours des 12 derniers mois auprès de groupes de conseil entre agriculteurs, et 19,7% auprès d'agents de vulgarisation. Cependant, seulement 9% du contenu des conseils de l'extension concernait le calendrier des travaux agricoles (c'est le cas de la plantation ou de la récolte). Ces résultats soulignent la nécessité de prêter une attention particulière à ces deux canaux d'information en ce qui concerne la diffusion des calendriers de culture. Néanmoins, 44% des interviewés ont déclaré que leurs voisins, amis ou famille sont leur source d'information la plus importante. La formation des paysans leaders pourrait donc être un moyen utile pour équiper les agriculteurs de connaissances sur l'adaptation au changement climatique.

Comme indiqué dans le sous-chapitre sur les dimensions de genre, les dates de plantation flexibles sont couramment considérées comme l'approche la plus simple pour l'adaptation au changement climatique et sont plus réalisables pour de nombreux agriculteurs que d'autres options notamment l'utilisation de variétés de cultures améliorées (Debaeke et al., 2017; Singh et al., 2017). Cependant, étant donné que le calendrier des opérations agricoles dépend souvent d'une fenêtre limitée de précipitations, déterminer le meilleur moment pour planter nécessite des informations météorologiques fiables (MacCarthy et al., 2017; Tingem et al., 2009). Cet aspect est particulièrement important, car il est prévu que les précipitations deviennent beaucoup plus variables dans le cadre des scénarios de changement climatique (voir chapitre 2.2). Oyekale (2015) a examiné l'accès aux prévisions météorologiques en Afrique de l'Est et de l'Ouest et a constaté que 62,7% et 56,4% des agriculteurs en Afrique de l'Est et de l'Ouest, respectivement, avaient accès aux prévisions sur le début des pluies, et environ 49,4% et 41,9% des agriculteurs respectivement en Afrique de l'Est et de l'Ouest, recevaient des conseils des services de vulgarisation autour du début des pluies. Ces données montrent que de nombreux agriculteurs ne disposent pas adéquatement d'informations météorologiques. Cependant, les connaissances locales ou indigènes en matière de prévision météorologique devraient également être prises en compte, car elles se sont révélées être une source importante pour les petits exploitants agricoles dans différentes régions de l'Afrique subsaharienne (Radeny et al., 2019). Une étude empirique menée par Taruvinga et al. (2016), réalisée dans la province du Cap-Oriental en Afrique du Sud, souligne en outre que l'adaptation réussie des dates de plantation est associée à des facteurs tels que l'éducation, la richesse, le type de propriété foncière, l'accès au crédit informel et l'appartenance à des groupes communautaires agricoles. Le soutien institutionnel devrait donc se concentrer sur la diffusion des connaissances grâce à la distribution de calendriers culturels et à un meilleur accès aux services de vulgarisation, tout en ciblant spécifiquement les agriculteurs ayant des besoins de soutien particuliers, comme les ménages pauvres en ressources ou dirigés par des femmes, afin de garantir l'équité dans l'adoption de dates de plantation adéquates.



## 5. Discussion et conclusion

Ce rapport propose une analyse approfondie des risques climatiques pour les systèmes de production de café, de vanille, de poivre et d'arachide à Madagascar, une évaluation de la faisabilité et présente des avantages de la sélection de variétés adaptées localement et de dates de plantation flexibles comme stratégies d'adaptation. Les impacts du changement climatique sur l'adéquation de trois cultures commerciales majeures, à savoir le café, le poivre et la vanille, ont été examinés à l'aide d'analyses de pertinence.

Les résultats de simulation suggèrent que le café Arabica est la culture la plus touchée, avec une diminution globale de l'adéquation de 7% dans tout le pays. Étant donné que la plupart du café actuellement produit à Madagascar est du Robusta, cela ne devrait probablement affecter qu'un petit nombre d'agriculteurs (MAEP, 2004). Le café Robusta est moins sensible à la chaleur que le café Arabica, et donc la zone adaptée simulée reste presque stable face au changement climatique. Des régions telles que Atsimo Atsinanana, qui étaient simulées comme inappropriées pour la production de café Robusta et de poivre dans les conditions climatiques récentes, ont été prédites comme devenant appropriées pour ces cultures dans les conditions climatiques futures. L'émergence de nouvelles terres adaptées à cette culture, dans des zones précédemment inappropriées ouvre des opportunités de diversification des cultures et renforce la résilience au changement climatique. Enfin, les résultats de simulation indiquent une légère augmentation de l'adéquation des terres pour la production de vanille, notamment dans la principale région de culture, la Sava, mais aussi dans Atsimo Atsinanana, garantissant ainsi une source importante de revenus pour les agriculteurs locaux et assurant la durabilité du produit d'exportation le plus précieux de Madagascar.

Certains modèles basés sur une approche par processus ont été utilisés pour analyser les effets du changement climatique sur les rendements de l'arachide. Les résultats montrent que l'augmentation de la température et la diminution des quantités de pluie, lorsqu'elles sont considérées isolément, sont susceptibles de réduire les rendements de l'arachide au Madagascar. Cependant, une concentration élevée de CO<sub>2</sub> atmosphérique est prévue pour compenser ces impacts négatifs, de sorte que les rendements sont en fait projetés à augmenter de 4,4% à 6,4% au niveau national, selon les scénarios d'émissions. Ces découvertes suggèrent que les stratégies d'élevage les plus prometteuses sont celles visant à améliorer la capacité des plantes à utiliser des ressources telles que la lumière du soleil et l'eau. Un autre résultat est qu'un remplacement des cultures moins adaptées aux conditions climatiques futures, par l'arachide, pourrait être une stratégie efficace pour que les agriculteurs s'adaptent au changement climatique et bénéficient des rendements accrus projetés.

De plus, l'efficacité des deux stratégies d'adaptation, à savoir les dates de plantation flexibles et la sélection de variétés adaptées localement, a été analysée. Nos résultats de simulation suggèrent que remplacer la variété largement adoptée Fleur 11 par la variété traditionnelle Kanety pourrait entraîner une augmentation des rendements, car Fleur 11 a un cycle de croissance plus court et accumule donc moins de biomasse et de grains au cours de sa saison de croissance. Ces conclusions sont en accord avec les données issues des expériences sur le terrain. Cependant, la variété à cycle court Fleur 11 peut toujours présenter des avantages pour les agriculteurs locaux lorsqu'elle est utilisée en rotation avec d'autres cultures pour lesquelles une récolte précoce est essentielle, pour permettre deux récoltes par saison ou dans le cas de sécheresse extrême.

Remarquablement, le choix de dates de plantation flexibles plutôt en dépit d'une date fixe n'entraîne pas une augmentation des rendements. Ce phénomène pourrait être attribué au critère sélectionné, où le semis est déclenché lorsqu'au moins 25 mm de pluie sont enregistrés sur cinq jours dans la fenêtre de plantation s'étalant du 1er novembre au 30 décembre. Il est possible que le respect de cette règle conduise à des dates de semis sous-optimales, soit au tout début, soit à la fin de la période de semis. En résumé, nos résultats montrent qu'utiliser une variété adaptée localement et prendre en compte les calendriers de culture pour les pratiques de gestion agricole sont des options d'adaptation à faible seuil pouvant aider les agriculteurs à s'adapter au changement climatique. Cependant, les stratégies explorées pourraient avoir des limites pour aider les petits agriculteurs à améliorer leur résilience au changement climatique à long terme. La combinaison avec d'autres stratégies d'adaptation, telles que l'utilisation de systèmes d'alerte précoce fournissant des informations sur le moment opportun, la durée et la quantité de précipitations, pourrait être utile aux agriculteurs pour déterminer les calendriers de plantation et la sélection des cultures. Par exemple, dans le cadre du projet PrAda, la GIZ Madagascar a lancé un service hotline offrant des calendriers agricoles sur mesure pour des cultures telles que les arachides, les oignons, le riz, le maïs et le gingembre, en fonction de l'emplacement spécifique de l'appelant (Weiskopf et al., 2021). De tels services peuvent probablement aider les agriculteurs à s'adapter à un climat changeant à Madagascar.



## Références bibliographiques

- Adzawla, W., Azumah, S. B., Anani, P. Y., & Donkoh, S. A. (2019). Gender perspectives of climate change adaptation in two selected districts of Ghana. *Heliyon*, 5(11), e02854. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02854>
- Alhassan, H., Kwakwa, P.A., Adzawla, W. (2019). Farmers Choice of Adaptation Strategies to Climate Change and Variability in Arid Region of Ghana. *Review of Agricultural and Applied Economics*. XXII (Number 1, 2019). 32 – 40. <https://doi.org/10.15414/raae.2019.22.01.32-40>
- Alhassan, S. I., Osei-Asare, Y. B., Kurwornu, J. K. M., & Shaibu, M. T. (2019). Indigenous and research-based adaptation strategies of smallholder women rice farmers to climate variability in the Northern Region of Ghana. *Journal of Energy and Natural Resource Management*, 1(2). <https://doi.org/10.26796/jenrm.v1i2.129>
- Ali, E., Awade, N. E., & Abdoulaye, T. (2020). Gender and impact of climate change adaptation on soybean farmers' revenue in rural Togo, West Africa. *Cogent Food and Agriculture*, 6(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2020.1743625>
- Alliance for Commodity Trade in Eastern and Southern Africa (ACTESA) (2014). COMESA Seed Trade Harmonization Regulation. Lusaka, Zambia.
- Amoah, E. A., Damnyag, L., Baffour-Ata, F., & Boateng, D. (2021). Gender barriers to climate change adaptation practices in semi-deciduous forest zone of Ghana. *Journal of Environmental Sustainability*, 8(1). <https://scholarworks.rit.edu/jes/vol8/iss1/6>
- Ariga, J., Mabaya, E., Waithaka, M., & Wanzala Mlobela, M. (2019). Can improved agricultural technologies spur a green revolution in Africa? A multicountry analysis of seed and fertilizer delivery systems. *Agricultural Economics*, 50(S1), 63–74. <https://doi.org/10.1111/agec.12533>
- Arimi, K. S. (2014). Determinants of climate change adaptation strategies used by fish farmers in Epe Local Government Area of Lagos State, Nigeria. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(7), 1470–1476. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6452>
- Assan, E., Suvedi, M., Schmitt Olabisi, L., & Allen, A. (2018). Coping with and Adapting to Climate Change: A Gender Perspective from Smallholder Farming in Ghana. *Environments*, 5(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/environments5080086>
- Bannayan, M., Eyshi Rezaei, E., & Hoogenboom, G. (2013). Determining optimum planting dates for rainfed wheat using the precipitation uncertainty model and adjusted crop evapotranspiration. *Agricultural Water Management*, 126, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.05.001>
- Belay, A., Recha, J. W., Woldeamanuel, T., & Morton, J. F. (2017). Smallholder farmers' adaptation to climate change and determinants of their adaptation decisions in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Agriculture & Food Security*, 6(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0100-1>
- Berchie, M. Opoku, H. Adu-Dapaah, A. Agyemang, J. Sarkodie-Addo, E. Asare, J. Addo, & H. Akuffo. (2012). Evaluation of five bambara groundnut (*Vigna subterranea* (L.) Verdc.) landraces to heat and drought stress at Tono-Navrongo, Upper East Region of Ghana. *African Journal of Agricultural Research*, 7(2). <https://doi.org/10.5897/AJAR11.817>
- Berrang-Ford, L., Siders, A. R., Lesnikowski, A., Fischer, A. P., Callaghan, M. W., Haddaway, N. R., Mach, K. J., Araos, M., Shah, M. A. R., Wannowitz, M., Doshi, D., Leiter, T., Matavel, C., Musah-Surugu, J. I., Wong-Parodi, G., Antwi-Agyei, P., Ajibade, I., Chauhan, N., Kakenmaster, W., ... Abu, T. Z. (2021). A systematic global stocktake of evidence on human adaptation to climate change. *Nature Climate Change*, 11(11), Article 11. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01170-y>
- Bezner Kerr, R., T. Hasegawa, R. Lasco, I. Bhatt, D. Deryng, A. Farrell, H. Gurney-Smith, H. Ju, S. Lluch-Cota, F. Meza, G. Nelson, H. Neufeldt, and P. Thornton, 2022: Food, Fibre, and Other Ecosystem Products Supplementary Material. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Available from <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.
- Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Roncoli, C., Silvestri, S., & Herrero, M. (2013). Adapting agriculture to climate change in Kenya: Household strategies and determinants. *Journal of Environmental Management*, 114, 26–35. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.10.036>
- Buddhaboon, C., Jintrawet, A., & Hoogenboom, G. (2011). Effects of planting date and variety on flooded rice production in the deepwater area of Thailand. *Field Crops Research*, 124(2), 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.06.019>

- Central Intelligence Agency (CIA) (2020). CIA World Factbook, Madagascar. In: The World Factbook. <https://www.cia.gov/the-world-factbook/countries/madagascar/>
- Centre Technique Horticole de Tamatave (CTHT) (2023). Poivre. <https://ctht.org/poivre/>
- Crane, T. A., Roncoli, C., & Hoogenboom, G. (2011). Adaptation to climate change and climate variability: The importance of understanding agriculture as performance. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 57(3–4), 179–185. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2010.11.002>
- Debaeke, P., Pellerin, S., & Scopel, E. (2017). Climate-smart cropping systems for temperate and tropical agriculture: Mitigation, adaptation and trade-offs. *Cahiers Agricultures*, 26(3), Article 3. <https://doi.org/10.1051/cagri/2017028>
- Delille H. (2011). Perceptions et stratégies d'adaptation paysannes face aux changements climatiques à Madagascar : Cas des régions Sud-ouest, Sud-est et des zones périurbaines des grandes agglomérations. <http://www.avsf.org/public/posts/704>
- Deressa, T. T., Hassan, R. M., Ringler, C., Alemu, T., & Yesuf, M. (2009). Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change*, 19(2), 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.01.002>
- Desiraju, S., Rao, R., Reddy, V., & Voleti, S. R. (2010). Climate Change and its Impact on Rice. Rice Knowledge Management Portal (RKMP). <http://www.rkmp.co.in>
- Ensor, J. E., Park, S. E., Attwood, S. J., Kaminski, A. M., & Johnson, J. E. (2018). Can community-based adaptation increase resilience? *Climate and Development*, 10(2), 134–151. <https://doi.org/10.1080/017565529.2016.1223595>
- Fayad, D. (2023). Food Insecurity and Climate Shocks in Madagascar: Republic of Madagascar. Selected Issues Papers, 2023(037). <https://doi.org/10.5089/9798400242601.018.A001>
- Faye, B., Webber, H., Diop, M., Mbaye, M. L., Owusu-Sekyere, J. D., Naab, J. B., & Gaiser, T. (2018). Potential impact of climate change on peanut yield in Senegal, West Africa. *Field Crops Research*, 219, 148–159. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.034>
- Fisher, M., Abate, T., Lunduka, R. W., Asnake, W., Alemayehu, Y., & Madulu, R. B. (2015). Drought tolerant maize for farmer adaptation to drought in sub-Saharan Africa: Determinants of adoption in eastern and southern Africa. *Climatic Change*, 133(2), 283–299. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1459-2>
- Food and Agricultural Organization (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](https://doi.org/10.1007/978-3-030-44988-9_8)
- Food and Agriculture Organization Statistics (FAOSTAT) (2021). Crops and livestock products—Madagascar. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Gachene, C. K. K., Karuma, A. N., & Baaru, M. W. (2014). Climate Change and Crop Yield in Sub-Saharan Africa. In: Lal, R., Singh, B. R., Mwaseba, D. L., Kraybill, D., Hansen, D. O., & Eik, L. O. (Eds.) (2015). Sustainable Intensification to Advance Food Security and Enhance Climate Resilience in Africa. doi:10.1007/978-3-319-0
- Garruchet, V., Bosc, P.-M., & Mialet-Serra, I. (2023). L'Agriculture à Madagascar : évolution, chiffres clés et défis. Saint-Denis : PRÉRAD-OI, 88 p.
- González Guzmán, M., Cellini, F., Fotopoulos, V., Balestrini, R., & Arbona, V. (2022). New approaches to improve crop tolerance to biotic and abiotic stresses. *Physiologia Plantarum*, 174(1). <https://doi.org/10.1111/ppl.13547>
- Gridley, H. (2002). Participatory Varietal Selection in West and Central Africa. In: Bellon, M. & Reeves, J. (Eds.), Quantitative Analysis of Data from Participatory Methods in Plant Breeding. Mexico.
- Grisoni, M., & Nany, F. (2021). The beautiful hills: Half a century of vanilla (*Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews) breeding in Madagascar. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(5), 1691–1708. <https://doi.org/10.1007/s10722-021-01119-2>
- Hänke, D. H. (2020). Living Income Reference Price for Vanilla from Madagascar, a 2020 update. [https://files.fairtrade.net/publications/Fairtrade\\_Vanilla\\_LivingIncomeRefPrice\\_Madagascar\\_fullreport\\_2020.pdf](https://files.fairtrade.net/publications/Fairtrade_Vanilla_LivingIncomeRefPrice_Madagascar_fullreport_2020.pdf)
- Hampf, A. C., Gleixner, S., Undorf, S., & Gornott, C. (in preparation a). Climate change impacts on the agro-climatic suitability of major food and cash crops in Madagascar.
- Hampf, A. C., Weituschat, C. S., Gleixner, S., Undorf, S., & Murken, L. (in preparation b). Adaptation strategies to climate change for small-scale farmers in Madagascar.

- Harvey, C. A., Chacón, M., Donatti, C. I., Garen, E., Hannah, L., Andrade, A., Bede, L., Brown, D., Calle, A., Chará, J., Clement, C., Gray, E., Hoang, M. H., Minang, P., Rodríguez, A. M., Seeberg-Elverfeldt, C., Semroc, B., Shames, S., Smukler, S., ... Wollenberg, E. (2014). Climate-Smart Landscapes: Opportunities and Challenges for Integrating Adaptation and Mitigation in Tropical Agriculture. *Conservation Letters*, 7(2), 77–90. <https://doi.org/10.1111/conl.12066>
- Harvey, C. A., Rakotobe, Z. L., Rao, N. S., Dave, R., Razafimahatratra, H., Rabarijohn, R. H., Rajaofara, H., & MacKinnon, J. L. (2014). Extreme vulnerability of smallholder farmers to agricultural risks and climate change in Madagascar. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639), 20130089. <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0089>
- Hellin, J., Keleman, A., & Bellon, M. (2010). Maize diversity and gender: Research from Mexico. *Gender and Development*, 18(3), 427–437.
- International Institute for Sustainable Development (IISD) (2022). Descriptions technicoéconomiques pour des options d'adaptation prioritaires : Une analyse des pratiques résilientes et variétés adaptées pour le café, le poivre, la vanille, le girofle et l'arachide dans les régions de l'Androy, l'Anôsy et l'Atsimo-Atsinanana. Canada.
- Komen, J., & Wafula, D. K. (2021). Authorizing GM Crop Varieties: Policy Implications for Seed Systems in Sub-Saharan Africa. *Agronomy*, 11(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091855>
- Kristjanson, P., Bryan, E., Bernier, Q., Twyman, J., Meinzen-Dick, R., Kieran, C., Ringler, C., Jost, C., & Doss, C. (2017). Addressing gender in agricultural research for development in the face of a changing climate: Where are we and where should we be going? *International Journal of Agricultural Sustainability*, 15. <https://doi.org/10.1080/14735903.2017.1336411>
- Kruger, L. (2016). The timing of agricultural production in hazard-prone areas to prevent losses at peak-risk periods: A case of Malawi, Madagascar and Mozambique. *Jambá : Journal of Disaster Risk Studies*, 8(2). <https://doi.org/10.4102/jamba.v8i2.179>
- Laux, P., Jäckel, G., Munang, R., & Kunstmann, H. (2010). Impact of climate change on agricultural productivity under rainfed conditions in Cameroon—A method to improve attainable crop yields by planting date adaptations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150, 1258–1271. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.05.008>
- L'Écho du Sud (2023). Adaptation et résilience : Nouveaux calendriers culturels pour contrer le changement climatique. <https://www.lechodusud.com/post/adaptation-et-résilience-nouveaux-calendriers-culturels-pour-contrer-le-changement-climatique>
- MacCarthy, D. S., Adiku, S. G. K., Freduah, B. S., Gbefo, F., & Kamara, A. Y. (2017). Using CERES-Maize and ENSO as Decision Support Tools to Evaluate Climate-Sensitive Farm Management Practices for Maize Production in the Northern Regions of Ghana. *Frontiers in Plant Science*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00031>
- Magesa, B. A., Mohan, G., Matsuda, H., Melts, I., Kefi, M., & Fukushi, K. (2023). Understanding the farmers' choices and adoption of adaptation strategies, and plans to climate change impact in Africa: A systematic review. *Climate Services*, 30, 100362. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100362>
- Maja, M. M., Idiris, A. A., Terefe, A. T., & Fashe, M. M. (2023). Gendered Vulnerability, Perception and Adaptation Options of Smallholder Farmers to Climate Change in Eastern Ethiopia. *Earth Systems and Environment*, 7(1), 189–209. <https://doi.org/10.1007/s41748-022-00324-y>
- Ministère de l'Agriculture (MINAGRI) – Direction Générale de la Planification et du Contrôle (2010). Service de la Statistique Agricole Annuaire 2005, 2006, 2007, 2008. <https://www.instat.mg/p/minagri-annuaire-statistiques-agricoles-2005-2006-2007-2008>
- Ministère de l'Agriculture (MINAGRI) – Direction Générale de la Planification et du Contrôle (2012). Service de la Statistique Agricole Annuaire 2009 – 2010. <https://www.instat.mg/p/minagri-annuaire-statistiques-agricoles-2009-2010>
- Ministère de l'Agriculture et de l'Élevage (MINAE) (2022). Calendriers culturels 2022 – 2023 – Arachide.
- Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche (MAEP) (2004). Filière Café. [https://www.inter-reseaux.org/wp-content/uploads/pdf\\_102\\_Filiere\\_Cafe.pdf](https://www.inter-reseaux.org/wp-content/uploads/pdf_102_Filiere_Cafe.pdf)
- Mohammadi, R., Haghparast, R., Sadeghzadeh, B., Ahmadi, H., Solimani, K., & Amri, A. (2014). Adaptation Patterns and Yield Stability of Durum Wheat Landraces to Highland Cold Rainfed Areas of Iran. *Crop Science*, 54(3), 944–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci2013.05.0343>
- Munyi, P. (2022). Current developments in seed laws harmonisation in Africa. Report to the European Commission. DeSIRA-LIFT

- National Centre of Applied Research for Rural Development (FOFIFA) (2022). Data from field experiments on phenology, leaf area index and yield of three different peanut varieties in Androy, Madagascar. 2018 – 2021. Unpublished source
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2021). Making Better Policies for Food Systems, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/ddfba4de-en>
- Orange actu Madagascar (2022). Les calendriers culturaux 2022 – 2023 sont disponibles dans tout le pays. <https://actu.orange.mg/les-calendriers-culturaux-2022-2023-sont-disponibles-dans-tout-le-pays/> (Accessed: August 17, 2023)
- Owusu, V., & Yiridomoh, G. Y. (2021). Assessing the determinants of women farmers' targeted adaptation measures in response to climate extremes in rural Ghana. *Weather and Climate Extremes*, 33, 100353. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100353>
- Oyekale, A. S. (2015). Access to Risk Mitigating Weather Forecasts and Changes in Farming Operations in East and West Africa: Evidence from a Baseline Survey. *Sustainability*, 7(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su71114599>
- Quisumbing, A. R., Meinzen-Dick, R., Raney, T. L., Croppenstedt, A., Behrman, J. A., & Peterman, A. (2014). Gender in agriculture: Closing the knowledge gap. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-017-8616-4>
- Radeny, M., Desalegn, A., Mubiru, D., Kyazze, F., Mahoo, H., Recha, J., Kimeli, P., & Solomon, D. (2019). Indigenous knowledge for seasonal weather and climate forecasting across East Africa. *Climatic Change*, 156(4), 509–526. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02476-9>
- Rakotoarison, N., Raholijao, N., Razafindramavo, L. M., Rakotomavo, Z. A. P. H., Rakotoarisoa, A., Guillemot, J. S., Randriamialisoa, Z. J., Mafilaza, V., Ramiandrisoa, V. A. M. P., Rajaonarivony, R., Andrianjafinirina, S., Tata, V., Vololoniaina, M. C., Rakotomanana, F., & Raminosoa, V. M. (2018). Assessment of Risk, Vulnerability and Adaptation to Climate Change by the Health Sector in Madagascar. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(12), 2643. <https://doi.org/10.3390/ijerph15122643>
- Rakotobe, Z. L., Harvey, C. A., Rao, N. S., Dave, R., Rakotondravelo, J. C., Randrianarisoa, J., Ramanahadray, S., Andriambolantsoa, R., Razafimahatratra, H., Rabarijohn, R. H., Rajaofara, H., Rameson, H., & MacKinnon, J. L. (2016). Strategies of smallholder farmers for coping with the impacts of cyclones: A case study from Madagascar. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 17, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.04.013>
- Randrianatsimbazafy, E. (2022). Baseline Study for the Seed Sector of Madagascar. Projet COMRAP – COMESA Regional Agricultural Input Program.
- Raveloaritiana, E., Wurz, A., Grass, I., Osen, K., Soazafy, M. R., Martin, D. A., Faliniaina, L., Rakotomalala, N. H., Vorontsova, M. S., Tschardtke, T., & Rakouth, B. (2021). Land-use intensification increases richness of native and exotic herbaceous plants, but not endemics, in Malagasy vanilla landscapes. *Diversity and Distributions*, 27(5), 784–798. <https://doi.org/10.1111/ddi.13226>
- Röhrig, F., Gloy, N., von Loeben, S., Gornott, C., Arumugam, P., Aschenbrenner, P., Baek, H.-R. L., Bado, I., Chemura, A., Habtemariam, L., Kaufmann, J., Koch, H., Laudien, R., Liersch, S., Lüttringhaus, S., Murken, L., Neya, O., Noleppa, S., Ostberg, S., ... Wortmann, M. (2021). Climate Risk Analysis for Identifying and Weighing Adaptation Strategies in Burkina Faso's Agricultural Sector. Potsdam Institute for Climate Impact Research. <https://doi.org/10.48485/PIK.2022.001>
- Singh, P., Boote, K. J., Kadiyala, M. D. M., Nedumaran, S., Gupta, S. K., Srinivas, K., & Bantilan, M. C. S. (2017). An assessment of yield gains under climate change due to genetic modification of pearl millet. *The Science of the Total Environment*, 601–602, 1226–1237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.002>
- Solomon, E. & Edet, O., G. (2018). Determinants of Climate Change Adaptation Strategies Among Farm Households in Delta State, Nigeria. *Current Investigations in Agriculture and Current Research*, 5(3). <https://doi.org/10.32474/CIACR.2018.05.000213>
- Sourisseau, J.-M., Tsimisanda, H.-M., Bélières, J.-F., Elyah, A., Bosc, P.-M., & Razafimahatratra, H. (2014). Les agricultures familiales à Madagascar : Un atout pour le développement durable. Antananarivo
- Taruvunga, A., Visser, M., & Zhou, L. (2016). Barriers and opportunities to climate change adaptation in rural Africa: Evidence from the Eastern Cape Province of South Africa.
- The National Oceanic and Atmospheric Administration Climate.gov project (NOAA Climate.gov) (2023). Broken record: Atmospheric carbon dioxide levels jump again. <http://www.climate.gov/news-features/feed/broken-record-atmospheric-carbon-dioxide-levels-jump-again>
- The Observatory of Economic Complexity (OEC) (2021). Madagascar – Exports, Imports, and Trade Partners. <https://oec.world/en/profile/country/mdg> (accessed: October 12, 2023)
- Tingem, M., & Rivington, M. (2009). Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: Turning on the heat. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(2), 153–168. <https://doi.org/10.1007/s11027-008-9156-3>

- Tingem, M., Rivington, M., & Bellocchi, G. (2009). Adaptation assessments for crop production in response to climate change in Cameroon. *Agronomy for Sustainable Development*, 29(2), 247–256. <https://doi.org/10.1051/agro:2008053>
- Tomalka, J., Lange, S., Röhrig, F., & Gornott, C. (2021). Climate Risk Profile: Madagascar. Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK)
- UN Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) (2021). Madagascar: Grand Sud Humanitarian Snapshot. <https://reliefweb.int/report/madagascar/madagascar-grand-sud-humanitarian-snapshot-july-2021>
- Vasconcelos, A. C. F., Bonatti, M., Schindwein, S. L., D'Agostini, L. R., Homem, L. R., & Nelson, R. (2013). Landraces as an adaptation strategy to climate change for smallholders in Santa Catarina, Southern Brazil. *Land Use Policy*, 34, 250–254. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.03.017>
- Voahanginirina, R. (2020). Factors Affecting the Quality of Peanut Seeds. *Open Access Library Journal*, 7(3), Article 3. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106115>
- Voss-Fels, K. P., Stahl, A., Wittkop, B., Lichthardt, C., Nagler, S., Rose, T., Chen, T.-W., Zetzsche, H., Seddig, S., Majid Baig, M., Ballvora, A., Frisch, M., Ross, E., Hayes, B. J., Hayden, M. J., Ordon, F., Leon, J., Kage, H., Friedt, W., ... Snowdon, R. J. (2019). Breeding improves wheat productivity under contrasting agrochemical input levels. *Nature Plants*, 5(7), Article 7. <https://doi.org/10.1038/s41477-019-0445-5>
- Waha, K., Müller, C., Bondeau, A., Dietrich, J. P., Kurukulasuriya, P., Heinke, J., & Lotze-Campen, H. (2013). Adaptation to climate change through the choice of cropping system and sowing date in sub-Saharan Africa. *Global Environmental Change*, 23(1), 130–143. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.11.001>
- Weltzien, E., Rattunde, F., Christinck, A., Isaacs, K., & Ashby, J. (2019). Gender and Farmer Preferences for Varietal Traits. In *Plant Breeding Reviews* (pp. 243–278). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119616801.ch7>
- Weituschat, C.S., Murken, L., Waid, J. (in preparation). AGRICA Madagascar database on climate change adaptation and food security in Malagasy agriculture. Potsdam Institute for Climate Impact Research
- World Bank (2020). World Development Indicators – DataBank. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators> (accessed: August 21, 2023)
- World Bank (2021a). World Bank Open Data—Employment in agriculture (% of total employment). World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org> (accessed: August 9, 2023)
- World Bank (2021b). World Bank Open Data—Population—Madagascar. World Bank Open Data. <https://data.worldbank.org> (accessed: August 13, 2023)
- World Bank Climate Change Knowledge Portal (CCKP) (2021). <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/> (accessed: June 10, 2023)
- Yegbemey, R. N., Kabir, H., Awoye, O. H. R., Yabi, J. A., & Paraïso, A. A. (2014). Managing the agricultural calendar as coping mechanism to climate variability: A case study of maize farming in northern Benin, West Africa. *Climate Risk Management*, 3, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2014.04.001>
- Zabel, F., Müller, C., Elliott, J., Minoli, S., Jägermeyr, J., Schneider, J. M., Franke, J. A., Moyer, E., Dury, M., Francois, L., Folberth, C., Liu, W., Pugh, T. A. M., Olin, S., Rabin, S. S., Mauser, W., Hank, T., Ruane, A. C., & Asseng, S. (2021). Large potential for crop production adaptation depends on available future varieties. *Global Change Biology*, 27(16), 3870–3882. <https://doi.org/10.1111/gcb.15649>
- Zeleke, T., Beyene, F., Deressa, T., Yousuf, J., & Kebede, T. (2023). Smallholder farmers' perception of climate change and choice of adaptation strategies in East Hararghe Zone, Eastern Ethiopia. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 15(4), 515–536. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-01-2022-0014>

Un rapport préparé par le Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK) en collaboration avec la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH au nom du Ministère fédéral allemand de la coopération économique et du développement (BMZ). Les analyses ont été réalisées dans le cadre du projet **AGRICA – Analyses des risques climatiques pour la planification de l'adaptation en Afrique subsaharienne**.



Pour plus d'informations, veuillez consulter le site [agricade.de](http://agricade.de).