

# Annexe : Analyse des risques climatiques pour la planification d'adaptation dans le secteur agricole au Cameroun

## Méthodologie

### Projections climatiques

L'évaluation du climat actuel et récent dans cette étude repose sur l'ensemble de données observationnelles climatiques W5E5 (Cucchi et al., 2020 ; Lange et al., 2021) qui est basé sur l'association de simulations de modèles météorologiques mondiaux, de données satellites et d'observations in situ. L'ensemble de données recouvre la période de 1979 à 2016, suivant une résolution temporelle quotidienne et un intervalle de quadrillage de l'ensemble du globe de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (ce qui correspond à environ  $55 \text{ km} \times 55 \text{ km}$  au Cameroun).

Les données des projections climatiques simulées par des modèles climatiques mondiaux (MCM) proviennent du projet ISIMIP3b (phase 3b de l'Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project ; Lange, 2019 ; Lange & Büchner, 2021). Les simulations historiques couvrent les années 1850–2014, et les projections à venir (en vertu des deux scénarios d'émissions de gaz à effet de serre) couvrent les années 2015–2100. W5E5 est le jeu de données observationnelles de référence utilisé pour la correction de biais et la mise à échelle statistique de l'ISIMIP3b. Les modèles climatiques mondiaux compris dans l'ISIMIP3b sont : CanESM5 (ou : Can), CNRM-ESM2-1 (ou : CNES), CNRM-CM6-1 (ou : CNCM), EC-Earth3 (ou : EC), GFDL-ESM4 (ou : GFDL), IPSL-CM6A-LR (ou : IPSL), MIROC6 (ou : MIROC), MPI-ESM1-2-HR (ou : MPI), MRI-ESM2-0 (ou : MRI), et UKESM1-0-LL (ou : UKE) (Lange, 2019 ; Lange & Büchner, 2021).

Les modèles climatiques mondiaux ne peuvent représenter à la perfection le climat actuel et futur. Ils présentent naturellement des projections légèrement différentes dans leur modélisation du climat, même s'ils sont fondés sur le même scénario d'émissions. Les différentes projections de chaque modèle individuel montrent le degré d'incertitude, et la médiane de l'ensemble multi-modèles offre une estimation prudente des changements climatiques possibles. Ainsi, dans ce rapport, la médiane de l'ensemble multi-modèles est présentée en chiffres et sur les cartes, et le degré d'incertitude basé sur les résultats de tous les MCM est soit indiqué soit discuté. Les analyses du changement climatique sont basées sur des moyennes de 20 années<sup>1</sup>, ce qui signifie que la température annuelle moyenne par ex. en 2030 est calculée comme une moyenne des températures comprises entre 2021 et 2040. Les changements par rapport au passé sont analysés en comparant les données W5E5 de 2000 à 2019 avec celles de 1979 à 1998. Le climat de référence, utilisé comme situation de départ dans cette étude, renvoie au climat en 2004 (1995–2014),

cette période étant incluse dans les simulations historiques de l'ISIMIP3b. Les données des projections climatiques sont évaluées pour les périodes 2030 (2021–2040), 2050 (2041–2060) et 2090 (2081–2099) en comparaison au référentiel de 2004 pour chaque modèle et scénario.

Les indicateurs analysés dans cette étude sont : la moyenne annuelle de la température moyenne de l'air, le nombre de journées très chaudes par an (température maximum dépassant  $35^\circ\text{C}$ ), le nombre de nuits très chaudes par an (température minimum dépassant  $25^\circ\text{C}$ ), la quantité annuelle moyenne des précipitations, l'intensité et le début, la fin et la durée de la saison des pluies.

L'indicateur de l'intensité des fortes précipitations est défini à la valeur du 95e centile de jours présentant des précipitations ( $>0,1 \text{ mm}$ ).

Nous avons utilisé la méthode du pourcentage des précipitations moyennes cumulées pour déterminer les dates de début et de fin des pluies. Élaborée par Liebmann et al. (2012), cette méthode a été adoptée et appliquée avec succès sur tout le continent africain. Le degré de certitude des projections climatiques est déterminé par le pourcentage de modèles qui s'accordent sur la tendance (avec un niveau de signification de 0,05) (voir GIEC, 2014).  $\geq 90 \%$  : très élevé ;  $\geq 80 \%$  : élevé ;  $\geq 50 \%$  : moyen ;  $\leq 50 \%$  : faible.

### Modifications de la couverture végétale durch Changement de l'occupation du sol

La cartographie des zones présentant une modification du couvert forestier est essentielle pour développer des stratégies adaptées localement en vue de mieux contrôler ces dynamiques (de Wasseige et al., 2014). Pour procéder à cette surveillance, la télédétection représente une méthode peu onéreuse qui a prouvé son efficacité pour évaluer l'évolution et la dégradation du couvert forestier sur plusieurs décennies et à différentes échelles (Loveland et al., 2012 ; Hansen et al., 2013 ; Nagendra et al., 2013 ; Mukete et al., 2018).

La région du Mbam-et-Kim a été analysée par l'imagerie satellite Sentinel dotée d'une haute résolution spatiale et de capacités multispectrales pour la classification de l'utilisation des sols. Les images ont été prétraitées pour garantir des données sans nébulosité. Les caractéristiques spectrales, structurales et contextuelles ont été extraites à partir de l'imagerie prétraitée

1) Les variables climatiques (comme les températures et les précipitations) présentent une forte variabilité annuelle. Afin d'analyser les changements climatiques à long terme et non les variabilités annuelles, les moyennes des variables climatiques relevées sur une période de 20 à 40 ans sont comparées entre elles.

en recourant à un ensemble de données d'apprentissage. Le modèle a alors été façonné grâce aux échantillons de données d'apprentissage et à leurs caractéristiques correspondantes pour définir les classes d'utilisation des sols. Le modèle ainsi formé a été utilisé pour classifier chaque pixel ou segment d'image en classes d'utilisation des sols. L'évaluation de l'exactitude a été réalisée en recourant à des données de référence indépendantes et à l'opinion d'experts afin de valider les résultats. Un traitement et une analyse post-classification ont été menés pour affiner les résultats de la classification de l'utilisation des sols grâce à des techniques de post-traitement. La cartographie de l'utilisation des sols a été analysée et interprétée pour extraire des informations pertinentes sur les zones forestières, les modifications de la couverture végétale et les schémas écologiques. L'évaluation de l'exactitude et donc le degré de fiabilité sont basés sur des données issues d'ensembles modélisés et sur les avis d'experts.

## Productivité herbagère

Cette analyse est pertinente pour les animaux de pâturage les plus importants dont les bovins, les ovins et les caprins. Elle a été réalisée à l'aide du modèle dynamique global de la végétation LPJmL (Lund-Potsdam-Jena with managed land) qui a été en grande partie développé au PIK (Schaphoff et al., 2018 ; Von Bloh et al., 2018). Le modèle LPJmL simule les processus écosystémiques essentiels tels que la photosynthèse, la respiration des plantes et des sols, la répartition du carbone, l'évapotranspiration et la phénologie de la végétation naturelle et gérée, logiquement reliés par leurs flux de carbone, d'eau et d'azote (Schaphoff et al., 2018 ; Von Bloh et al., 2018). Les modèles dynamiques globaux de la végétation servent souvent à étudier les effets du changement climatique sur la couverture végétale. En outre, LPJmL fournit une représentation de différents schémas de gestion des pâturages, qui lui permettent de simuler les impacts du pâturage dans les prairies gérées (Rolinski et al., 2018).

Les besoins quotidiens en fourrage varient en fonction de l'animal. Pour effectuer des comparaisons, les types d'animaux peuvent être « convertis » en Unité de bétail tropical (UBT) en fonction de leur poids vif en recourant à des facteurs de conversion indiqués dans le tableau 16. Une UBT correspond à un animal au poids vif de 250 kg. On suppose un besoin quotidien en fourrage de 6,25 kg de matière sèche par UBT (MINEPIA, 2022), et l'analyse suivante ne fait pas de distinction entre types d'animaux.

Type de bétail	Nombre d'UBT
Bovins	0.73
Ovins	0.12
Caprins	0.12

Tableau 16 : Facteurs de conversion en Unité de bétail tropical (UBT) pour différents types d'animaux (basé sur Ziébé, Thys et De Deken, 2005).

Dans les simulations des modèles, les pâturages sont supposés être uniquement couverts d'herbages, sans arbres ni arbustes. Les modèles ne font pas de distinction entre les différents herbages. Les besoins quotidiens en fourrage sont évalués à un taux relativement élevé afin de tenir compte des variations de la digestibilité du fourrage qui ne peuvent pas être saisies par le modèle. L'impact du pâturage par le bétail est représenté par la suppression journalière partielle de la biomasse foliaire des graminées. On estime que le pâturage laisse toujours une hauteur de chaume minimale d'environ 1 cm. En ce qui concerne la demande, la quantité de biomasse retirée dépend de la densité des animaux de pâturage (nombre d'UBT par hectare). Sur le plan de l'offre, la biomasse disponible varie suivant les saisons et les années en fonction de la météo et du pâturage antécédent, mais aussi de l'historique de l'utilisation des sols à long terme. La modélisation montre que le pâturage continu par une densité de bétail élevée entraîne une détérioration des réserves de carbone et d'azote dans le sol, avec des effets négatifs sur la productivité herbagère au fil du temps. D'autres effets négatifs du surpâturage comme l'érosion des sols ne sont pas représentés dans le modèle. Les réserves de carbone et d'azote dans les sols ainsi que la biomasse sont aussi menacées par les feux. Les incendies sont simulés par le modèle SPITFIRE intégré dans le LPJmL (Drüke et al., 2019). SPITFIRE fait une distinction entre les incendies causés par les éclairs et ceux causés par l'homme, mais les feux ne s'embrasent que s'ils sont alimentés par des masses de combustibles en quantité suffisante et sèches.

Nous ne disposons pas de données spatiales et temporelles explicites sur la densité de pâturage réelle au Cameroun pour la période historique. Les estimations sur les types de couverture des sols varient considérablement en raison des incertitudes entourant les algorithmes de classification. On estime par exemple que les pâturages recouvrent entre 1,34 et 2,69 millions d'hectares au Cameroun sur la période 2015–2019 (Tableau 17). L'estimation de la demande en pâturage à l'échelle infra-annuelle est difficile à déterminer en raison de la pratique de la transhumance qui implique les mouvements saisonniers des troupeaux, souvent sur de grandes distances.

Étant donné les limites de ces données, nous ne tentons pas de reproduire les régimes de pâturage réels au Cameroun. Au contraire, nous testons systématiquement une fourchette des taux de retrait de biomasse (correspondant à des densités de cheptel entre 0 et 6 UBT/ha) et sélectionnons dans chaque cellule et pour une période de 20 années le taux de retrait produisant le rendement total annuel d'herbages le plus élevé. Nous considérons ce rendement d'herbages comme un potentiel de pâturage, mais soulignons qu'il n'équivaut pas à une capacité de charge. Comme les rendements des herbages varient chaque année sur la période de 20 ans et même à l'échelle saisonnière, utiliser le potentiel de pâturage dans son intégralité nécessiterait soit un ajustement saisonnier de la densité de cheptel, soit un complément de fourrages issus d'autres sources. Le potentiel de

Ensemble de données sur la couverture végétale	Pâturages [ha]	Cultures herbacées [ha]	Zones couvertes d'arbustes [ha]
Zone CCI_LC	1717542	4806836	2340560
Zone CGLS	2692340	2476072	3655974
Zone MODIS	1337538	6246500	1863
Ensemble de données sur l'utilisation des sols	Terres arables [ha]	Sols de prairies et pâturages temporaires [ha]	Sols de prairies et pâturages permanents [ha]
Utilisation des sols FAOSTAT	6200000	716073	2000000
Pâturages HYDE			2676112

Tableau 17 : Estimations concernant la couverture des sols au Cameroun pour la période 2015 – 2019 basées sur trois types de couvertures des sols et de zones d'utilisation des sols constatées par FAOSTAT (FAO, 2023d). La catégorie « Sols de prairies et pâturages temporaires » fait partie des « Sols arables » selon la typologie établie par FAOSTAT. Pâturages HYDE issus de la History Database of the Global Environment (HYDE, version 3.2.1, Klein Goldewijk et al., 2017).

pâturage que nous calculons reconnaît que ces deux techniques de gestion sont actuellement utilisées au Cameroun, tout en n'en rendant pas compte quantitativement de manière explicite tel que cela serait nécessaire afin d'estimer la capacité de charge.

L'agrégation des cellules pour présenter les niveaux de rendements à l'échelle régionale ou nationale nécessite des suppositions sur l'ampleur des prairies dans chaque cellule. Nous avons utilisé un ensemble de données maillées issu de la History Database of the Global Environment (HYDE, version 3.2.1, Klein Goldewijk et al., 2017). La somme des pâturages HYDE sur toutes les cellules du Cameroun (2,68 millions ha) correspond assez bien à la somme des prairies et pâturages temporaires et permanents relevés par FAOSTAT (2,72 millions ha, tableau 17).

S'appuyant sur la résolution spatiale des données climatiques, LPJmL simule la surface terrestre par un fin quadrillage de cellules de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  soit approximativement  $55 \times 55$  km. Comme mentionné au chapitre 1, des simulations de la productivité herbagère passée et future suivant différents régimes de gestion sont fondées sur les dix modèles climatiques globaux (GCM) et deux scénarios d'émissions. Les changements à venir concernant le potentiel de pâturage annuel sont présentés pour trois périodes : avenir proche ~2030 (2021–2040), milieu du siècle ~2050 (2041–2060), et fin du siècle ~2090 (2081–2100). Tous les changements sont établis en comparaison à la période historique de 1995–2014. Pour l'avenir, on ne suppose aucun changement au niveau des pâturages.

## Évaluation de l'aptitude

Des modèles climatiques de vocation aux cultures ont été appliqués afin d'évaluer les impacts climatiques sur l'aptitude individuelle du maïs (*Zea mays*), du manioc (*Manihot esculenta*) et du cacao (*Theobroma cacao*) ainsi que le potentiel des systèmes agroforestiers à constituer une option d'adaptation pour la production de cacao au Cameroun. Les évaluations de la vocation culturale sont fondées sur le principe que les paramètres

biophysiques (acidification des sols par ex.) et les variables climatiques (quantité totale des précipitations reçues durant la saison de croissance par ex.) jouent un rôle important dans la détermination des taux de production agricole, ce qui est vrai pour de nombreuses régions tropicales où l'agriculture est surtout influencée par la météo. Un modèle d'évaluation de la vocation utilise donc ces variables pour générer un score pour chaque culture, chaque période et chaque emplacement, en fonction de l'adéquation des variables avec les besoins de la culture en question ou avec les conditions régnant dans les zones de production actuelles connues (Evangelista et al., 2013). Le remplacement des variables climatiques par celles projetées en vertu du changement climatique montre les modifications des surfaces agricoles potentiellement cultivables d'une région pour une culture spécifique. Ainsi, les modèles de vocation culturale sont utilisés pour évaluer les effets du changement climatique sur le potentiel de production agricole tout le long d'une saison en vue de planifier l'adaptation nécessaire au niveau national et local.

Pour cette étude, nous avons recouru au modèle EcoCrop qui calcule la vocation des environnements en comparant des données écologiques spécifiques aux cultures aux données climatiques d'un environnement donné. Les paramètres spécifiques aux cultures et les données climatiques nécessaires à EcoCrop sont présentés au tableau 18. Pour la saisie des données de base, nous avons recouru à la base de données sur les sols ISRIC. Les données sur les projections climatiques simulées par les MCM ont été recueillies auprès de l'ISIMIP3b (Lange, 2019 ; Lange et al., 2021). Les besoins relatifs aux cultures ont été obtenus à partir de la base de données FAO Ecocrop et ajustés conformément aux conditions spécifiques du Cameroun. Les scénarios d'émissions SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0 ont servi pour les projections relatives à l'aptitude pour les années 2030 (2021–2040), 2050 (2041–2060), et 2090 (2081–2100). La validation des modèles a été réalisée en comparant la vocation simulée à la présence signalée de la culture concernée au Cameroun grâce aux données sur le terrain et à la banque de données du Global Biodiversity Information Facility (GBIF), ou

système mondial d'information sur la biodiversité. La bonne adéquation du modèle pour le maïs (exactitude > 0,84), le cacao (exactitude > 0,87) et le manioc (exactitude > 0,84) a été réalisée par rapport à l'occurrence culturelle rapportée, ce qui a donné confiance pour appliquer le modèle dans les évaluations des impacts du changement climatique au Cameroun. L'aptitude culturelle va de 0 (aptitude nulle) à 1 (aptitude élevée). Nous avons défini les seuils suivants : l'aptitude supérieure au 55e centile correspond aux zones ne présentant aucune limite notable à une production soutenue et stable sur la durée ; les zones à vocation limitée sont celles inférieures au 55e centile, conformément à l'approche de Ramirez. Après avoir évalué l'aptitude individuelle des trois produits agricoles au Cameroun, nous avons associé l'aptitude du cacao avec le safoutier (*Dacryodes edulis*) et le manguier (*Mangifera indica*) pour saisir les zones propices à une adaptation grâce à la mise en œuvre des systèmes agroforestiers en utilisant la méthode de Chemura et al., 2020. Des modifications au niveau des taux et de la répartition de l'aptitude entre les conditions climatiques actuelles et projetées ont été évaluées en comparant les zones selon les périodes temporelles et les scénarios climatiques.

Paramètres spécifiques aux cultures	Données climatiques
Température critique minimum	Température mensuelle minimum
Température minimum	Température mensuelle moyenne
Température minimum idéale	Total mensuel des précipitations
Température maximum idéale	
Température maximum	
Précipitations minimum	
Précipitations minimum idéales	
Précipitations maximum idéales	
Précipitations maximum	
Période de croissance culturelle	
Acidité du sol spécifique à la culture	

Tableau 18 : Paramètres spécifiques aux cultures et données climatiques utilisés dans EcoCrop.

## Évaluation des pertes de rendements

Le rendement des cultures est une réponse spécifique des plantes aux variables de la météo et des sols ainsi qu'à d'autres intrants déterminés par la pratique agronomique. Ces interactions peuvent être formalisées sous forme d'équations représentant la réponse physiologique du cultivar d'une culture spécifique à des variables environnementales (Jones et al., 2003). Les modèles de simulation cultureaux biophysiques intègrent simultanément des informations interactives sur les sols, les plantes, les intrants sur le terrain et la météo. Pour cette étude, nous avons utilisé

APSIM qui simule la croissance de la plante par rapport à la température, aux rayonnements, à l'humidité du sol et à l'apport en nutriments. Pour simuler la croissance culturale, le modèle nécessite la saisie de données météorologiques quotidiennes, les paramètres du profil des sols, des informations détaillées sur la gestion de la culture et des coefficients génétiques de la variété culturale choisie. APSIM calcule l'eau à la disposition de la plante, les bilans de l'azote, du phosphore et du carbone, ainsi que le développement végétatif et reproductif des cultures à un intervalle quotidien.

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

Pour cette évaluation, nous supposons des conditions pluviales et pas d'apport d'engrais comme stratégie de gestion par défaut. Pour le maïs, le cultivar hybride511 a été utilisé comme cultivar par défaut en raison de sa similarité avec le CMS8704, le cultivar de maïs le plus répandu au Cameroun. Pour le manioc, un cultivar courant a été paramétré pour correspondre aux niveaux de rendements observés dans le pays. La date d'ensemencement est automatiquement réglée par le modèle lorsque les quantités de pluie sur 5 jours dépassent 20 mm dans les créneaux temporels prédéterminés par ZAE en fonction du calendrier agricole du Cameroun (ONACC, 2021). Aussi, les dates de récoltes sont automatiquement calculées par APSIM lorsque la culture arrive à maturité. Pour le maïs, la profondeur d'ensemencement a été établie à 6 cm, l'espace entre rangées à 90 cm, et la densité des plantes à 2 plantes/m<sup>2</sup>, conformément à la pratique courante au Cameroun (IFATI & MINEFOP, 2022). Pour l'évaluation relative au manioc, nous avons utilisé diverses sources pour paramétrer et calibrer le modèle. Pour la modélisation des rendements de manioc, nous avons défini des conditions d'agriculture pluviale, car il s'agit du système dominant pour la production de manioc au Cameroun. Nous nous sommes référés à Temagne et al. (2015) pour les dates de plantation et de récoltes, pour la profondeur des semences, l'espacement des rangées et la densité des plantes. Les données sur les sols de l'ISRIC ont été utilisées pour définir les profils des sols à chaque niveau. Nous nous servons des statistiques de rendements fournies au niveau régional par le Ministère de l'agriculture camerounais pour la calibration du modèle pour le manioc ainsi que sur celles du Global Dataset of Historical Yields (GHDY) pour le modèle concernant le maïs (Iizumi, 2019).

Le modèle pour le maïs a obtenu une bonne concordance au niveau du quadrillage entre les rendements moyens à long terme (1984–2014) observés et ceux simulés (corrélation de Pearson

$r=0,53$  et indice de concordance de Willmott  $d=0,74$ ). En ce qui concerne la variabilité interannuelle de 1984–2014, le modèle a produit une corrélation de  $r=0,45$  et un indice de concordance de  $d=0,68$  entre les rendements observés et simulés à l'échelle nationale, ce qui indique une adéquation du modèle suffisante en vue d'analyser les scénarios d'avenir.

Contrairement aux modèles de vocation aux cultures qui recourent généralement à un modèle empirique pour mesurer les conditions climatiques saisonnières générales et à long terme (utilisés dans la partie précédente), cette partie recourt à la modélisation biophysique et mécaniste des impacts du changement climatique sur les rendements agricoles. Les rendements sont alors calculés à partir des réactions quotidiennes et potentiellement non-linéaires aux variables météorologiques et à d'autres contributions sur le terrain telles que les sols et les pratiques agricoles.

## Analyse coûts-bénéfices

L'analyse coûts-bénéfices (ACB) a été menée afin d'évaluer les coûts et avantages économiques des trois stratégies d'adaptation sélectionnées au niveau de l'exploitation agricole.

### Semences améliorées de maïs

Dans le cadre de deux ACB, nous comparons les coûts et les avantages d'un investissement dans des semences de maïs hybrides résistantes à la chaleur aux coûts et avantages d'une production de maïs reposant sur des variétés hybrides conventionnelles d'ici 2050.

#### Scénario 1 et situation de référence : Pas d'adaptation (pas d'action, impacts du changement climatique)

Le référentiel des calculs correspond à un scénario sans adaptation suivant lequel l'agriculteur-trice produit du maïs à partir de variétés hybrides conventionnelles par l'agriculture pluviale (CMS8704 et CMS8806). Le modèle présume de grands efforts de gestion sans fertilisation ni irrigation afin de représenter les systèmes agricoles des petites exploitations. Les revenus commerciaux de ce système de production sont extrapolés jusqu'en 2050 en supposant des impacts climatiques en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

#### Scénario 2 : Adaptation (action, impacts du changement climatique)

Dans ce scénario d'adaptation, l'agriculteur-trice adopte une variété hybride résistante à la chaleur (basée sur H511) tout en gardant un système de production pluvial et sans fertilisation. Les rendements augmentent, mais les semences améliorées doivent être achetées auprès de sociétés de semences spéciales à des coûts plus élevés. Les revenus commerciaux et les coûts de cet investissement sont extrapolés jusqu'en 2050 en supposant des impacts climatiques en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

### Saisie de données et suppositions

Les données saisies pour cette ACB proviennent de la littérature, d'entretiens réalisés auprès d'informateurs locaux et sont basées sur certaines suppositions.

- Pour calculer les coûts d'investissement, le delta des coûts provenant des coûts plus élevés des semences améliorées a été utilisé. La supposition suivante a donc été avancée : les agriculteur-trice-s du scénario sans adaptation achètent leurs semences au prix de 650 FCFA/kg, tandis que les agriculteur-trice-s du scénario d'adaptation doivent investir 2 000 FCFA/kg pour les semences améliorées (Centre de Documentation pour le Développement Rural, 2016). Pour cultiver un hectare, une quantité de 22,5 kg de maïs est nécessaire (ANADER, 2017).
- On suppose également qu'il n'y a pas de coûts de transport supplémentaires liés à l'achat des nouvelles semences. La raison de cette supposition est que comme ces coûts dépendent de la distance entre le ménage agricole et les fournisseurs de semences, ils varieraient suivant la région et l'emplacement de l'évaluation.
- Les *bénéfices* sont dérivés des revenus résultant de la vente du maïs et sont constitués à partir des prix à la ferme et des rendements au niveau national et au niveau de la région de l'Adamaoua, c'est-à-dire respectivement :
  - Pour les rendements, les projections relatives aux semences améliorées et traditionnelles en vertu des scénarios de changement climatique et aux différents niveaux régionaux ont été utilisées. Conformément à ces projections, au niveau national, les rendements de référence des variétés traditionnelles (CMS) sont d'environ 2 000 kg/ha, tandis que les rendements de référence de la variété résistante à la chaleur est estimée à près de 2 500 kg/ha. Dans la région de l'Adamaoua, les rendements de référence des variétés traditionnelles s'élèvent à environ 2 400 kg/ha, tandis que les rendements de référence de la variété améliorée atteignent 2 800 kg/ha. Les projections des rendements montrent que les variétés traditionnelles présentent de meilleurs résultats et font un meilleur usage de leur potentiel dans des conditions naturelles propices comme c'est le cas dans la région de l'Adamaoua.
  - Le prix moyen à la ferme pour le maïs varie entre 10 000 et 15 000 FCFA par sac de 100 kg (Entretien avec Mesmin Tchindjang). Donc, pour les calculs, un prix moyen à la production de 125 FCFA par kg de maïs a été utilisé.
- On suppose également que la productivité de la zone cultivée par un-e fermier-ère augmente de 0,33 % par an grâce à l'évolution de la technologie autonome. Il s'agit d'une extrapolation des précédentes hausses de rendements de maïs sur les 30 dernières années au Cameroun (FAOSTAT, 2023a).
- Pour représenter le taux d'inflation, le taux de croissance exponentiel du produit intérieur brut (PIB) par habitant de ces 50 dernières années au Cameroun a été calculé : sa valeur est de 2,15 % (FAOSTAT, 2023b).

## GIFS pour le manioc

L'ACB est basée sur un modèle décrivant un-e petit-e exploitant-e moyen-ne au Cameroun qui fait pousser du manioc selon deux scénarios différents : sans et avec adaptation. En comparant les coûts et les avantages des deux scénarios, l'ACB permet d'évaluer si l'adaptation est pertinente d'un point de vue économique et en comparaison à une poursuite des activités sans adaptation.

### Situation de référence et scénarios

#### Scénario 1 et situation de référence : Pas d'adaptation (pas d'action, impacts du changement climatique)

Le scénario qui ne prévoit pas d'adaptation sert de référentiel à ces calculs. Il présuppose un-e agriculteur-trice produisant du manioc de manière habituelle, sans GIFS. Le modèle présume de grands efforts de gestion sans fertilisation ni irrigation afin de représenter les systèmes agricoles des petites exploitations. Les revenus commerciaux et les coûts de ce système sont extrapolés jusqu'en 2050 en supposant des impacts climatiques en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

#### Scénario 2 : Adaptation (action, impacts du changement climatique)

Dans le scénario avec adaptation, la productrice ou le producteur de manioc adopte la GIFS en enrichissant le sol de matériaux feuillus des restes de *Tithonia diversifolia* et de *Mucuna pruriens*. Les rendements de manioc devraient augmenter. Les revenus commerciaux et les coûts de ce système de production sont extrapolés jusqu'en 2050 en supposant des impacts climatiques en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

### Données saisies et suppositions

Cette ACB est basée sur les coûts et les avantages obtenus à partir de la littérature et des entretiens avec des informateurs clés. Les données spécifiques ou informations manquantes sont complétées par des présuppositions.

- Pour cette ACB, deux pratiques de gestion sont appliquées ensemble : la récolte du paillis de biomasse de *Tithonia* issu de ressources extérieures à l'exploitation qui est transporté, séché puis appliqué sur les champs ; l'application du paillis de biomasse de *Mucuna* cultivé comme culture de couverture sur le même champ que le manioc (Ngosong et al., 2015).
- Comme *Tithonia* pousse de manière sauvage, il n'y a pas de coûts de semence, de plantation ou d'entretien. Cependant, l'application de *Tithonia* sur le champ requiert un travail intensif. Après la récolte, les feuilles et la biomasse fraîche de *Tithonia* sont hachées en petits morceaux, séchées puis intégrées au sol à la houe quelques semaines avant la plantation du manioc (Bilong et al., 2022). Au total, 20 tonnes de matière sèche de *Tithonia* sont répandues sur un champ d'un hectare. Les coûts de cette pratique sont estimés à environ FCFA 693 840 ha<sup>-1</sup> (Kimaru-Muchai et al., 2021), sur la base d'un travail journalier de 3 540 FCFA (Mutsonziwa et al., 2018).

- Pour estimer les coûts de la culture et de l'application de pois mascate (*Mucuna*), un système intercalaire 1:1 avec le manioc est présupposé. Ainsi, pour un hectare, environ 15 kg de graines de *Mucuna* sont nécessaires (Chakoma et al., 2016 ; Ngandjui Tchapgga et al., 2023). On suppose également que les agriculteur-trice-s ne doivent acheter des graines de *Mucuna* que la première année de l'adoption, car les années suivantes, ils produisent leurs propres graines. Les coûts des graines de *Mucuna* sont estimés à 885 FCFA par kg (Ekyaligonza et al., 2022). Comme la plantation s'effectue en même temps que celle du manioc et que les plantes sèchent puis sont laissées directement sur le champ, nul coût de main-d'œuvre n'est appliqué. Pour la récolte, on a estimé une charge de travail de 21 jours par ha (Ngosong et al., 2015).
- Les bénéfices ont été calculés à partir des revenus issus du delta des rendements prévus selon la productivité plus élevée de manioc dans le scénario d'adaptation. Le modèle des rendements suppose un rendement de référence du manioc non traité et non fertilisé d'environ 10 t/ha dans le scénario sans adaptation et un rendement de référence de 30 300 t/ha de manioc cultivé avec la GIFS dans le scénario avec adaptation. Les rendements référentiels ont alors été extrapolés jusqu'en 2050 en appliquant un impact du changement climatique selon les scénarios SSP1-2.6 et SSP3-7.0. Le prix moyen du producteur à la ferme pour le manioc était estimé à 160 FCFA par kg (FEWS NET, 2022 ; MINADER & WFP Cameroon, 2022).
- L'agriculteur-trice génère un bénéfice supplémentaire grâce à la culture de la *Mucuna*, car on présume qu'il vend la part de la production de semences qu'il n'utilise pas pour sa propre consommation. En supposant un rendement de 2 329 kg/ha (Ngandjui Tchapgga et al., 2023) et un prix du marché de 400 CFA kg<sup>-1</sup> (FEWS NET, 2022), le revenu supplémentaire de l'agriculteur-trice grâce à la vente des pois a été calculé.
- On suppose que la productivité de la zone agricole augmente de 0,26 % par an grâce à l'évolution de la technologie autonome. Il s'agit d'une extrapolation des précédentes hausses de rendements de manioc sur les 30 dernières années au Cameroun (FAO, 2023a).
- Pour représenter le taux d'inflation, le taux de croissance exponentiel du produit intérieur brut (PIB) par habitant de ces 50 dernières années au Cameroun a été calculé : sa valeur est de 2,15 % (FAO, 2023b).

## Agroforesterie pour le cacao

### Situation de référence et scénarios

Nous avons supposé un système de production pluviale conventionnelle du cacao combiné à l'agroforesterie. L'introduction des arbres fruitiers dans l'agroforesterie constitue la mesure d'adaptation dans ce calcul. Comme l'ACB présente les changements réalisés sur la situation initiale qui repose sur l'existence d'une production de cacao, seuls les coûts additionnels et les avantages associés à l'introduction du système agroforestier seront analysés et projetés jusqu'en 2050. L'objectif

est de comparer la rentabilité d'une plantation conventionnelle de cacao avec système agroforestier à celle d'une plantation de cacao sans l'agroforesterie. Les scénarios sont définis ainsi :

### Scénario 1 et situation de référence : Pas d'adaptation (pas d'action, impacts du changement climatique)

La situation de référence suppose un système de production pluviale conventionnelle du cacao sans agroforesterie au Cameroun. Les revenus commerciaux et les coûts de ce système de production sont extrapolés jusqu'en 2050 en supposant des impacts climatiques en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

### Scénario 2 : Adaptation (action, impacts du changement climatique)

Pour le scénario d'adaptation, la production pluviale du cacao est associée aux arbres fruitiers dans un système agroforestier au Cameroun. Les arbres fruitiers testés sont :

- le safoutier (*Dacryodes edulis* ; *Safou*),
- l'avocatier (*Persea americana*),
- le manguier (*Mangifera indica*).

Les revenus commerciaux et les coûts de ce système de production sont extrapolés jusqu'en 2050 en supposant des impacts climatiques en vertu des scénarios SSP1-RCP2.6 et SSP3-RCP7.0.

### Données saisies et suppositions

L'ACB calcule les coûts et les avantages d'un modèle de système agricole basé sur plusieurs suppositions. Les données saisies sur les coûts et les avantages ont été réunies à partir de la revue de la littérature et d'entretiens avec des agriculteurs et des agricultrices locaux et des consultants au Cameroun. Les aspects suivants ont été pris en considération :

- Trois arbres fruitiers différents, le safoutier, l'avocatier et le manguier ont été utilisés dans le cadre de l'agroforesterie appliquée au système de production du cacao. Ces trois arbres sont porteurs de facteurs positifs pour le système intercalaire au niveau environnemental et économique. Cependant, certains d'entre eux sont difficiles à quantifier au niveau monétaire. Toutefois, tous les arbres produisent des fruits pouvant prendre une valeur monétaire en tant que sous-produits.
  - Le modèle suppose que les trois espèces d'arbres sont également réparties sur la zone de production. D'après les consultants locaux, dans la zone examinée, le nombre d'arbres fruitiers par hectare est de 20 (sept manguiers, sept avocatiers et six safoutiers) (voir aussi Jaza Folefack et al., 2021). On suppose que le replantage n'est pas nécessaire pendant la durée de cette analyse.
  - On suppose également qu'aucun cacaoyer ne doit être retiré pour faire de la place aux arbres servant à l'agroforesterie. Ainsi, il ne se produit aucune baisse de rendements liée à l'introduction des arbres d'agroforesterie.
  - Le modèle suppose qu'aucune machine supplémentaire ou d'autres équipements (par ex. brouette, houe, cisaille, nacelle, etc.) doivent être achetés pour la plantation et la récolte des arbres fruitiers puisqu'ils sont déjà nécessaires et disponibles à l'entretien de la plantation de cacaoyers.
- Au niveau des coûts, les éléments suivants ont été pris en compte dans l'analyse :
- Les coûts d'établissement par arbre du système agroforestier ont été extrapolés au système de 20 arbres analysé dans cette ACB. Ces données ont été ajustées au regard de l'inflation pour refléter les structures de coûts actuelles. D'après les informations obtenues dans le cadre d'entretiens avec des experts locaux et associées aux informations actuelles du marché, nous supposons le prix moyen d'un jeune plant d'arbre fruitier entre 1000 et 2000 FCFA (Agriculture au Cameroun, 2023b).
  - Nous avons inclus un tarif de main-d'œuvre journalier de 3 540 FCFA pour le travail nécessaire à la mise en place et à l'entretien du système agroforestier, comprenant la plantation, l'élagage et la récolte (Mutsonziwa et Kouame, 2018).
- Au niveau des avantages, les éléments suivants ont été pris en compte dans l'analyse :
- Associé à une gestion adéquate du système agroforestier pour le cacao (comprenant l'élagage des arbres et une densité de plantation faible), nous supposons que l'effet d'ombrage des arbres fruitiers aura des impacts positifs sur les rendements de cacao à partir de la sixième année, entraînant une hausse des rendements d'environ 12 % (Andres et al., 2016). Comme mentionné dans l'introduction, les effets prédits du changement climatique sur la production de cacao (concernant les rendements) diffèrent considérablement suivant les pays et les régions (voir Schroth et al., 2016 ; Läderach et al., 2013 ; Ofori-Boateng, 2012), ce qui explique la raison pour laquelle, pour ce scénario, nous ne supposons ni un effet positif ni un effet négatif sur la production de cacao en raison du changement climatique.
  - Nos calculs sont basés sur les rendements nationaux moyens fournis par la FAO, c'est-à-dire environ 400 kg/ha (FAO, 2023a), des chiffres également soutenus par des données dans la littérature (Jaza Folefack et al., 2021 ; Lescuyer & Bassanaga, 2021). On suppose que la productivité de la zone agricole augmente de 1,06 % par an grâce à l'évolution de la technologie autonome. Il s'agit d'une extrapolation des précédentes hausses de rendements de cacao sur les 30 dernières années au Cameroun (FAO, 2023a).

2) The autonomous technological change rate is linked to a technological progress induced by improved management or input techniques.

- Selon les informations recueillies localement, le prix à la production pour un kilogramme de fèves de cacao en 2022 allait de 900 à 1 300 CFA, en fonction des distances séparant les différents villages du marché le plus proche. Conformément aux données de Jaza Folefack et al. (2021) et de Business in Cameroon (2022a, b) et en tenant compte du fait que les prix de cacao varient beaucoup selon les mois et les régions (Reuters, 2015), nous avons calculé un prix moyen de 1 000 FCFA par kilogramme de fèves de cacao.
- On estime qu'un flux de revenus supplémentaire obtenu grâce aux fruits n'est réalisé qu'au bout de cinq ou six ans, en fonction des espèces, des conditions climatiques et édaphiques (Agriculture au Cameroun, 2023a). Les revenus sont basés sur les rendements par arbre fruitier, c'est-à-dire entre 100 kg pour les avocats et 200 kg pour les safoutiers (Awono et al., 2002 ; Juma et al., 2019 ; Rey et al., 2004). Les prix du marché proviennent de Jaza Folefack et al. (2021), selon lesquels le prix à la production s'élève à 700 FCFA kg<sup>-1</sup> pour les mangues et à 500 FCFA kg<sup>-1</sup> pour les avocats. Selon Rimlinger et al. (2021), le prix à la production, confirmé par des experts locaux, pour la prune (ou safou) était estimé à 1000 FCFA kg<sup>-1</sup>. À cause de la périssabilité rapide des fruits, nous avons inclus des pertes post-récoltes de 24 % pour les avocats (Dolaso et al., 2023) et les avons appliquées aux prunes en raison de la similarité de leurs caractéristiques physico-chimiques (Fotouo Makouate & Dongmo Lekagne, 2021). Pour les mangues, une réduction de 32 % due aux pertes post-récoltes a été incluse dans les calculs (Kamda Silapeux et al., 2021).

## Annexe II : Incertitudes

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

### Données du modèle climatique

Le développement des modèles climatiques a fait de gros progrès ces dernières décennies, mais les modèles climatiques présentent encore des incertitudes importantes en ce qui concerne la simulation du climat actuel (Tebaldi et Knutti, 2007). Pour éliminer les biais des simulations climatiques et adapter les modèles à notre analyse culturelle, les données climatiques sont traitées statistiquement (correction de biais) à l'aide de nos ensembles de données observationnelles (W5E5 dans notre cas). Cette approche a des limites importantes (Ehret et al., 2012 ; Maraun, 2016), car elle ajuste les données simulées aux observations sans corriger l'incapacité des modèles à représenter certains processus physiques du système planétaire. Toutefois, cette étape est nécessaire et ne change pas le fait que des simulations réalistes des impacts climatiques peuvent être obtenues (J. Chen et al., 2013 ; Teutschbein et Seibert, 2012). Nous avons analysé la performance de chaque modèle climatique individuellement afin de représenter le climat actuel pour s'assurer qu'aucun des modèles ne présente de biais fort. Le travail avec un ensemble de modèles climatiques permet de réduire éventuellement les biais que présentent les modèles individuellement. En outre, les ensembles de données observationnelles climatiques eux-mêmes sont imparfaits, surtout dans les régions dotées de peu de stations météorologiques. Les ensembles de données utilisés sont basés sur des modèles de réanalyse, d'observations satellites et de données stationnaires. En raison de la faible densité de données stationnaires à long terme et fiables en Afrique occidentale, les ensembles de données présentent de forts biais, en particulier sur une petite échelle. Dans ce rapport, l'analyse du climat à venir repose sur dix modèles climatiques globaux dont les biais ont été corrigés, conçus dans le cadre du projet ISIMIP3b (<https://www.isimip.org/protocol/3>), un sous-ensemble du Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) utilisé dans le prochain rapport AR6 du GIEC.

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

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

## Modèles cultureux

Les modèles cultureux permettent de déterminer la part des variations de rendements liée à la météo et de projeter les impacts des conditions climatiques sur les rendements des produits agricoles. Ces analyses peuvent aider les agriculteur-trice-s à prendre des décisions éclairées pour stabiliser et améliorer les rendements face aux conditions climatiques incertaines à venir. Les modèles cultureux sont souvent utilisés pour projeter ces impacts – au-delà de l'amplitude observée de la variabilité des rendements et de la météo – du changement climatique sur les futurs rendements (Ewert et al., 2015 ; Folberth et al., 2012 ; Rosenzweig et al., 2014). Toutefois, l'utilisation des modèles cultureux présente certaines limites. Comme les données disponibles peuvent être limitées, l'adaptation du modèle risque d'être restreinte (manque d'informations sur les dates de la saison de croissance, les rendements, la répartition de l'utilisation des sols, l'alternance des cultures ou sur l'application des engrais (Müller et al., 2016). Aussi, la qualité des données sur les sols contribue à l'incertitude des évaluations sur les rendements (Folberth et al., 2016). Les données fragmentées et imprécises en provenance de régions présentant peu de stations

météorologiques accroissent l'incertitude (Van Wart et al., 2013), surtout si des données météorologiques très locales sont nécessaires comme c'est le cas pour cette étude de district. En outre, la sélection des données des scénarios climatiques ajoute un facteur d'incertitude supplémentaire (Müller et al., 2021). On observe certains désaccords entre les différents types de modèles – statistiques, apprentissage-machine et basés sur les processus – (Schauberger et al., 2017), mais les deux types de modèles utilisés dans cette étude de cas ont été utilisés dans des études précédentes et leur inaptitude est invraisemblable d'un point de vue général.

## Analyse coûts-bénéfices

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

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

L'incertitude des hypothèses concernant les futures variations de prix et de coûts ainsi que le choix du taux d'actualisation aggravent encore l'incertitude des résultats de l'ACB. Toutefois, les hypothèses posées dans notre étude sont basées sur des études menées dans des conditions socio-économiques comparables à celles du Cameroun, diverses sources de données ont été triangulées et des opinions d'experts sollicitées. Les conclusions de l'ACB ne devraient pas être considérées comme des résultats définitifs à prévoir lors de la mise en œuvre des stratégies d'adaptation, mais elles peuvent guider la prise de décision et fournir des études de cas pour des scénarios d'adaptation.

## Références bibliographiques

- Agriculture au Cameroun (2023a): La culture du Safoutier au Cameroun : Pourquoi et comment investir dans cette culture ? URL : <https://www.agricultureaucameroun.net/investir-culture-du-safoutier-au-camaroun/>
- Agriculture au Cameroun (2023b): Fruitiers disponible (price sheet). URL : <https://www.agricultureaucameroun.net/>
- ANADER (2017): Fiche technicoéconomique du Maïs. Agence Nationale d'Appui au Développement Rural. September 2017.
- Andres, C.; Comoé, H.; Beerli, A.; Schneider, M.; Rist, S.; Jacobi, J. (2016): Cocoa in Monoculture and Dynamic Agroforestry. In: Lichtfouse, E. (eds) Sustainable Agriculture Reviews. Sustainable Agriculture Reviews (19). Springer, Cham.
- Awono, A.; Ndoye, O.; Schreckenber, K.; Tabu-Na, H.; Isseri, F.; Temple, I. 2002b. Production and marketing of safou (*Dacryodes edulis*) in Cameroon and internationally: Market development issues. *Forests, Trees and Livelihoods* 12: 125–147
- Bilong, E. G.; Abossolo-Angue, M.; Nanganoa, L. T.; Anaba, B. D.; Ajebesone, F. N.; Madong, B. A. & Bilong, P. (2022): Organic manures and inorganic fertilizers effects on soil properties and economic analysis under cassava cultivation in the southern Cameroon. *Scientific Reports*, 12(1), 20598. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-022-17991-6>
- Business in Cameroon (2022a): Cameroon: Cocoa price cap improved. Driven by year-end sales. URL: <https://www.businessincameroon.com/industry/0912-12896-cameroon-cocoa-price-cap-improved-driven-by-year-end-sales>
- Business in Cameroon (2022b): Cameroon: Cocoa farm gate prices improve slightly to XAF1,000-1,050 per kilogram. URL: <https://www.businessincameroon.com/agriculture/2402-11320-cameroon-cocoa-farm-gate-prices-improve-slightly-to-xaf1-000-1-050-per-kilogram>
- Centre De Documentation pour le Développement Rural (2016): Cameroun : Peut-on être riche en cultivant le maïs? 24 January 2016. <https://www.lavoixdupaysan.net/peut-on-etre-riche-en-cultivant-le-mais/>
- Chakoma, I.; Manyawu, G.; Gwiriri, L.; Moyo, S. & Dube, S. (2016): The agronomy and use of *Mucuna pruriens* in smallholder farming systems in southern Africa. ILRI (International Livestock Research Institute) extension brief.
- Chemura, A., Schauburger, B. and Gornott, C.(2020) 'Impacts of climate change on agro-climatic suitability of major food crops in Ghana', *PLoS ONE*. Public Library of Science,15(6). doi: 10.1371/journal.pone.0229881.
- Chen, J, F.P. Brissette, D. Chaumont, and M. Braun. 2013. "Finding Appropriate Bias Correction Methods in Downscaling Precipitation for Hydrologic Impact Studies over North America." *Water Resources Research* 49 (7): 4187–4205. <https://doi.org/10.1002/wrcr.20331>.
- de Wasseige C., Flynn J., Louppe D., Hiol Hiol F. and Mayaux, Ph., 2014. *The forests of the Congo Basin : State of the Forest 2013*. Weyrich. Belgium. 328p. ISBN : 978-2-87489-299-8
- Dolaso, A. A. & Shano, B. K. (2023): Assessment of Postharvest Loss of Avocado at Producers Level (Case of Wolaita and KembataTembaro Zones). 2023020214.
- Drüke, M., Forkel, M., von Bloh, W., Sakschewski, B., Cardoso, M., Bustamante, M., Kurths, J., and Thonicke, K.(2019): Improving the LPJmL4-SPITFIRE vegetation–fire model for South America using satellite data, *Geosci. Model Dev.*, 12, 5029–5054.
- Ehret, U., Zehe, E., Wulfmeyer, V., Warrach-SagiK., Liebert, J. (2012). HESS Opinions "Should we apply bias correction to global and regional climate model data?" In *Hydrology and Earth System Sciences* <https://doi.org/10.5194/hess-16-3391-2012>
- Ekyaligonza D.M.; Tibasiima T.K.; Dietrich, P., John Patrick Kagorora, Friedel, J.K., Eder, M. and Freyer, B. (2022). Short-term trade-offs of organic matter management strategies for smallholder farms. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*, 6(1035822). doi:<https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.1035822>.
- Evangelista, P., Young, N. and Burnett, J. (2013). How will climate change spatially affect agriculture production in Ethiopia? Case studies of important cereal crops. *Climatic Change*, 119(3-4), pp.855–873. doi:<https://doi.org/10.1007/s10584-013-0776-6>.
- Ewert, F., R.P. Rötter, M. Bindi, H. Webber, M. Trnka, K.C. Kersebaum, J.E. Olesen, et al. 2015. "Crop Modelling for Integrated Assessment of Risk to Food Production from Climate Change." *Environmental Modelling & Software* 72 (October): 287–303. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2014.12.003>.
- FAO (2023a): Cassava yields for Cameroon from 1972 until 2021. Crops and livestock products.

- FAO (2023d): Livestock Systems. URL: <https://www.fao.org/livestock-systems/en/>
- FEWS NET (Famine Early Warning Systems Network) (2022): Cameroon Bulletin des Prix, 28 février 2022.
- Folberth C, Gaiser T, Abbaspour K C, Schulin R and Yang H 2012 Regionalization of a large-scale crop growth model for Sub-Saharan Africa: model setup, evaluation, and estimation of maize yields *Agric. Ecosyst. Environ.* 151 21–33
- Folberth, C., R. Skalský, E. Moltchanova, J. Balkovič, L. B. Azevedo, M. Obersteiner, and M. van der Velde. 2016. "Uncertainty in Soil Data Can Outweigh Climate Impact Signals in Global Crop Yield Simulations." *Nature Communications* 7 (1). <https://doi.org/10.1038/ncomms11872>.
- Fotouo Makouate, H. & Dongmo Lekagne, J. B. (2021): African Pear (*Dacoryodes edulis* (G.Don) H.J.Lam) Physical Characteristics, Nutritional Properties and Postharvest Management: A Review. In. *Agric. conspec. sci.* Vol. 87 (2022) No. 1 (1-10).
- Hansen, M. C., P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, et al. 2013. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342 (6160): 850–53. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>.
- Iizumi, Toshichika (2019): Global dataset of historical yields v1.2 and v1.3 aligned version. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.909132>
- Jaza Folefack, A. J.; Ngwack, F. S.; Achu Mulu, G.; Geitzenauer, M. & Mathe, S. (2021): A comparative cost-benefit analysis between fairtrade certified and non-certified cocoa production in the South-West region of Cameroon. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics.* 122/2. 321-333.
- Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A. J., Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3–4), 235–265.
- Juma, I.; Fors, H.; Persson Hovmalm, H.; Nyomora, A.; Faith, M.; Geleta, M. S.; Carlsson, A. & Octavio Ortiz, R. (2019): Avocado Production and Local Trade in the Southern Highlands of Tanzania: A Case of an Emerging Trade Commodity from Horticulture. In. *Agronomy* 2019, 9(11), 749.
- Kamda Silapeux, A.G., Ponka, R., Frazzoli, C. and Fokou, E. (2021). Waste of Fresh Fruits in Yaoundé, Cameroon: Challenges for Retailers and Impacts on Consumer Health. *Agriculture*, 11(2), p.89. <https://doi.org/10.3390/agriculture11020089>.
- Kimaru-Muchai, S.W., Ngetich, F.K., Mucheru- Muna, M.W. and Baaru, M. (2021). Zai pits for heightened sorghum production in drier parts of Upper Eastern Kenya. *Heliyon*, 7(9), p.e08005. [doi:https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08005](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08005).
- Klein Goldewijk, K., Beusen, A., Doelman, J., and Stehfest, E. (2017): Anthropogenic land use estimates for the Holocene – HYDE 3.2, *Earth Syst. Sci. Data*, 9, 927–953.
- Läderach, P.; Martinez-Valle, A.; Schroth, G. & Castro, N. (2013): Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire. In: *Climatic Change* (119), pp. 841-854.
- Lange, S. (2019): Earth2Observe, WFDEI and ERA-Interim data Merged and Bias-corrected for ISIMIP (EWEMBI). (V. 1.1.). GFZ Data Services.
- Lange, S. (2019a). Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with ISIMIP3BASD (v1.0). *Geoscientific Model Development Discussions*. <https://doi.org/10.5194/gmd-2019-36>
- Lange, S. (2019b). WFDE5 over land merged with ERA5 over the ocean (W5E5). V. 1.0. GFZ Data Services.
- Lange, S., Menz, C., Gleixner, S., Cucchi, M., Weedon, G. P., Amici, A., Bellouin, N., Muller Schmied, H., Hersbach, H., & Buontempo, C. (2021). WFDE5 over land merged with ERA5 over the ocean (W5E5 v2. 0).
- Lescuyer G and Bassanaga S (2021) Positive Influence of Certification on the Financial Performance of Cocoa Production Models in Cameroon. *Front. Sustain. Food Syst.* 5:743079. [doi: 10.3389/fsufs.2021.743079](https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.743079)
- Loveland, T., Mahmood, R., Patel-Weynand, T., Kartensen, K. and Beckendorf, K. (2012). National Climate Assessment Technical Report on the Impacts of Climate and Land Use and Land Cover Climate.
- MINADER & WFP Cameroon (2022): Newsletter on agricultural products price monitoring on markets in the Adamawa, North and Far North regions. N° 001. Period: March to May 2022.
- MINEPIA(2022)
- Mukete Beckline, Sun, Y., Etongo, D., Ekoungoulou, R., F. Folega, Sajjad, S., M Ngoe and Ndiaye, G. (2018). Household characteristics and forest resources dependence in the rumpi hills of cameroon. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(3). [doi:https://doi.org/10.15666/aeer/1603\\_27552779](https://doi.org/10.15666/aeer/1603_27552779).

- Müller, C., J.A Franke, J. Jägermeyr, A. C. Ruane, J. Elliott, E. J. Moyer, J. Heinke, et al. 2021. Exploring Uncertainties in Global Crop Yield Projections in a Large Ensemble of Crop Models and CMIP5 and CMIP6 Climate Scenarios. *Environmental Research Letters* 16 (3): 034040–40. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd8fc>.
- Müller, C., E. Stehfest, J.G. van Minnen, B. Strengers, W. von Bloh, A. H. W. Beusen, S. Schaphoff, T. Kram, and W. Lucht. 2016. “Drivers and Patterns of Land Biosphere Carbon Balance Reversal.” *Environmental Research Letters* 11 (4): 044002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/044002>.
- Nagendra, H., R. Lucas, J.P. Honrado, R.H.G. Jongman, C. Tarantino, M. Adamo, and P. Mairota. 2013. Remote Sensing for Conservation Monitoring: Assessing Protected Areas, Habitat Extent, Habitat Condition, Species Diversity, and Threats. *Ecological Indicators* 33 (2013): 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.014>.
- Ngandjui Tchapgua, F.; Chotangui, A.H.; Fouegag, M.T.; Mubeteneh, T.C. (2023): Effects of potato (*Solanum tuberosum* L.)– *Mucuna pruriens* intercropping pattern on the agronomic performances of potato and the soil physicochemical properties of the western highlands of Cameroon. In: *Open Agriculture* (8).
- Niang, I., Ruppel, O. C., Abdrabo, M. A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J., Urquhart, P. (2014). IPCC - Africa. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability—Contributions of the Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.002>
- Nijse, F. J. M. M., P. M. Cox, and M. S. Williamson. 2020. “Emergent Constraints on Transient Climate Response (TCR) and Equilibrium Climate Sensitivity (ECS) from Historical Warming in CMIP5 and CMIP6 Models. *Earth System Dynamics* 11 (3): 737–50. <https://doi.org/10.5194/esd-11-737-2020>.
- Ngosong, C.; Mfombep, P. M.; Njume, A. C.; Tening, A. S. (2015): Integrated Soil Fertility Management: Impact of *Mucuna* and *Tithonia* Biomass on Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) Performance in Smallholder Farming Systems. In: *Agricultural Sciences*, 2015 (6), pp. 1176–1186.
- Ofori-Boateng, K. (2012): Impact of Climate Change on Cocoa Production in West Africa. A Thesis in the Department of Economics, Submitted to the Faculty of The Social Sciences, University of Ibadan.
- ONACC (2021): Agricultural calendar for the Five AEZs of Cameroon. Observatoire National Sur Les Changement Climatique – National Observatory on Climate Change. Direction Générale – General Directorate. March 2021.
- Reuters (2015): Cameroon mid-March farmgate cocoa prices rise. URL: <https://www.reuters.com/article/cameroon-cocoa-idINL3N0WI5GM20150316>
- Rey, J.-Y.; Diallo, T. M.; Vannière, H.; Didier, C.; Keita, S. & Sangaré, M. (2004): The mango in French-speaking West Africa: varieties and varietal composition of the orchards. In: *Fruits*, 2004, vol. 59, pp. 191–208
- Rimlinger, A.; Duminiel, J.; Lemoine, T.; Avana, M.-L.; Chakocho, A.; Gakwavu, A.; Mboujda, F.; Tsogo, M.; Elias, M. & Carrière, M. (2021): Shifting perceptions, preferences and practices in the African fruit trade: the case of African plum (*Dacyodes edulis*) in different cultural and urbanization contexts in Cameroon. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. 17(65).
- Rolinski, S., Müller, C., Heinke, J., Weindl, I., Biewald, A., Bodirsky, B. L., Bondeau, A., Boons-Prins, E. R., Bouwman, A. F., Leffelaar, P. A., te Roller, J. A., Schaphoff, S., and Thonicke, K. (2018): Modeling vegetation and carbon dynamics of managed grasslands at the global scale with LPJmL 3.6, *Geosci. Model Dev.*, 11, 429–451.
- Rosenzweig, C., J. Elliott, D. Deryng, A. C. Ruane, C. Müller, A. Arneth, K.J. Boote, et al. 2013. Assessing Agricultural Risks of Climate Change in the 21st Century in a Global Gridded Crop Model Intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (9): 3268–73. <https://doi.org/10.1073/pnas.1222463110>.
- Schaphoff, S., von Bloh, W., Rammig, A., Thonicke, K., Biemans, H., Forkel, M., Gerten, D., Heinke, J., Jägermeyr, J., Knauer, J., Langerwisch, F., Lucht, W., Müller, C., Rolinski, S., and Waha, K. (2018): LPJmL4 – a dynamic global vegetation model with managed land – Part 1: Model description, *Geosci. Model Dev.*, 11, 1343–1375.
- Schauberger, B., Gornott, C., Wechsung, F. (2017). Global evaluation of a semiempirical model for yield anomalies and application to within- season yield forecasting. *Global Change Bio-logy*, 23(11), 4750–4764. <https://doi.org/10.1111/gcb.13738>
- Schroth, G.; Läderach, P.; Martinze-Valle, A.I.; Bunn, C. & Jassogne, L. (2016): Vulnerability of climate change of cocoa in West Africa: Patterns opportunities and limits to adaptation. In: *Science of the Total Environment* (556), p. 231–241.
- Tebaldi, C. and Knutti, R. (2007). The use of the multi-model ensemble in probabilistic climate projections. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 365(1857), pp.2053–2075. doi:<https://doi.org/10.1098/rsta.2007.2076>.

Temegne, N.C.; Ngome, A.F. & Fotso, K.A. (2015): Effect of soil chemical composition on nutrient uptake and yield of cassava (*Manihot esculenta* Crantz, Euphorbiaceae) in two AEZs of Cameroon. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 9(6):2776-2788.

Teutschbein, C. and Seibert, J. (2012). Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods. *Journal of Hydrology*, 456–457(2012), pp.12–29. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.05.052>.

van Wart, J., Kersebaum, K. C., Peng, S., Milner, M., & Cassman, K. G. (2013). Estimating crop yield potential at regional to national scales. *Field Crops Research*, 143, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.11.018>

von Bloh, W., Schaphoff, S., Müller, C., Rolinski, S., Waha, K., and Zaehle, S. (2018): Implementing the nitrogen cycle into the dynamic global vegetation, hydrology, and crop growth model LPJmL (version 5.0), *Geosci. Model Dev.*, 11, 2789–2812.

Ziébé, R., Thys, E. and De Deken. R. (2005): Analyse de systèmes de production animale à l'échelle d'un canton: Cas de Boboyo dans l'Extrême-Nord Cameroun, *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 58 (3).