

Suivi De La Campagne Agropastorale Au Sahel Et En Afrique De l'Ouest : Améliorer L'approche Grâce A L'analyse Des Indices De Végétation Et Des Précipitations Estimées Par Satellite

[Monitoring The Agro-Pastoral Season In The Sahel And West Africa: Improving The Approach Through The Analysis Of Vegetation Indices And Rainfall Estimated By Satellite]

Issa GARBA¹, Illa SALIFOU², Daouda Tiémogo SANGARE³

¹AGRHYMET Centre Climatique Régional pour l'Afrique de l'Ouest et le Sahel, BP :11011 Niamey-Niger, email : issa.garba@cilss.int ;

²Université Abdou Moumouni de Niamey, email : isalifou@yahoo.fr

³GIZ/Niger, email: daouda.sangare@giz.de



Résumé – AGRHYMET CCR AOS, en tant qu'entité déléguée par les pays, assume la responsabilité du suivi et de l'évaluation de la campagne agropastorale dans la région du Sahel et en Afrique de l'Ouest. Cet article vise à exposer de manière rigoureusement scientifique les méthodes employées dans l'élaboration de ces produits, ainsi que les techniques d'interprétation qui leur sont associées. Cette démarche s'appuie principalement sur l'utilisation d'images satellitaires, notamment le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et ses dérivés, le DMP (Dry Matter Productivity), ainsi que le RFE (Rainfall Estimated). Ces images sont acquises par le biais de la plateforme EUMETCast ou d'Internet depuis la plateforme COPERNICUS, et elles font l'objet d'un traitement automatisé au moyen de l'outil E_Station ou des logiciels SPIRITS et QIS. L'approche adoptée se fonde sur l'exploitation du NDVI, du RFE, et du DMP de la période s'étendant de 2014 à 2023. Les séries chronologiques de NDVI et RFE sont mobilisées pour suivre l'évolution de la végétation, tandis que le DMP est utilisé pour calculer les rendements saisonniers en biomasse fourragère de mai à octobre de chaque année. Une analyse statistique descriptive est ensuite entreprise pour comparer l'année en cours à des références comme entres autres la moyenne et l'année prétendante. Les informations issues de ces procédés de suivi et d'évaluation par satellites de la situation agropastorale sont diffusées aux utilisateurs.

Mots clés – Végétation, agropastorale, NDVI, DMP, RFE.

Abstract – AGRHYMET CCR AOS, as the entity delegated by the countries, assumes responsibility for monitoring and evaluating the agropastoral campaign in the Sahel region and West Africa. The aim of this article is to set out, in a rigorously scientific manner, the methods used to produce these products, as well as the interpretation techniques associated with them. This approach is based primarily on the use of satellite images, notably NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and its derivatives, DMP (Dry Matter Productivity), and RFE (Rainfall Estimated). These images are acquired via the EUMETCast platform or the Internet from the COPERNICUS platform, and are processed automatically using the E_Station tool or the SPIRITS and QIS software. The approach adopted is based on NDVI, RFE and DMP data for the period 2014-2023. The NDVI and RFE time series are used to monitor vegetation trends, while the DMP is used to calculate seasonal forage biomass yields from May to October of each year. A descriptive statistical analysis is then carried out to compare the current year with references such as the average and the pretending year. The information generated by these satellite-based monitoring and assessment processes is distributed to users.

Key words – Vegetation, agropastoral, NDVI, DMP, RFE.

I. INTRODUCTION

Le suivi de la campagne agropastorale au Sahel et en Afrique de l'Ouest revêt une importance cruciale pour évaluer les conditions des dynamiques intra et intersaisonnières de la végétation, ainsi que pour anticiper et estimer les rendements des cultures et des pâturages, dans le but de prévenir d'éventuelles crises alimentaires et pastorales. La variabilité des pluies dans cette région est influencée par la variation des températures de surface des océans, ce qui a des conséquences sur la végétation et la production agropastorale [1-4]. Plusieurs études ont été menées sur les relations entre les pluies et la végétation, montrant une bonne corrélation entre les quantités de pluies tombées (mesurées ou estimées par satellite) et les valeurs de l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI) dérivées des capteurs de NOAA AVHRR, MODIS TERRA ou SPOT VGT[5-8]. Le suivi de la campagne agropastorale implique l'évaluation de plusieurs facteurs, tels que la pluviométrie, l'état des cultures, la situation phytosanitaire et la disponibilité des pâturages. Il vise à fournir des informations actualisées sur la situation agricole et pastorale de la région. Les pays du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest sont particulièrement sujets à des risques climatiques difficiles tels que la sécheresse, les inondations, les vents violents et les vagues de chaleur[9, 10]. Le suivi de la campagne agropastorale dans cette région revêt donc une importance cruciale pour la sécurité alimentaire et la résilience des populations locales. La télédétection est un outil d'observation à distance de la Terre à l'aide de capteurs embarqués sur des satellites, des avions, des ballons ou des drones. Elle permet de collecter des données sur l'environnement, telles que la température de surface, la réflectance des plantes et la concentration de gaz atmosphériques. AGRHYMET CCR AOS a mis en place un système de suivi et d'évaluation des pâturages dans un contexte de forte variabilité spatiotemporelle, en utilisant les produits dérivés entre autres des images NDVI, RFE2 et DMP. Ce système permet de surveiller l'état de la végétation, d'anticiper les crises alimentaires et pastorales et de prendre des mesures d'adaptation appropriées. L'utilisation des images satellitaires comme le NDVI, le Dry Matter Productivity (DMP) et le RFE TAMSAT (Rainfall Estimate from TAMSAT) dans le suivi de la campagne agropastorale est un exemple de combinaison qui permet d'obtenir des informations géospatiales fiables et à temps sur la productivité des cultures et des pâturages [11-16]. Cette approche basée sur la télédétection offre de nombreux avantages, tels que la couverture large et la capacité à collecter des données dans des zones difficiles d'accès. Les résultats du suivi de la campagne agropastorale sont utilisés sous forme de bulletins ou de notes spéciales pour informer les décideurs politiques des États, des organisations internationales, des organisations humanitaires et des acteurs du développement, etc., sur les besoins en matière de sécurité alimentaire et les actions à entreprendre pour atténuer les effets des crises agricoles et pastorales[17-19]. En combinant de manière cohérente, en analysant conjointement le DDVI, le DMP et le RFE TAMSAT, il devient possible d'acquérir une information fiable et exhaustive concernant la campagne agropastorale, incluant les conditions météorologiques, la santé des cultures et des pâturages, ainsi que leurs rendements. Cela permet aux décideurs et aux acteurs du développement de prendre des mesures appropriées pour atténuer les effets des sécheresses et des inondations, améliorer la sécurité alimentaire et promouvoir le développement durable. Alors, quelle méthode peut être élaborée pour surveiller et évaluer la campagne agropastorale de manière cohérente et efficace en Afrique de l'Ouest et sahel qui traversent des sérieux de défis sécuritaires et alimentaires ?

II. MATÉRIEL ET MÉTHODES

La méthode de surveillance de la campagne agropastorale au Sahel et en Afrique de l'Ouest, qui exploite des données satellitaires telles que le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et ses produits dérivés, le DMP (Dry Matter Productivity), le RFE TAMSAT (Rainfall Estimated), et leurs produits dérivés, peut être divisée en cinq étapes distinctes (figure). Cette démarche rigoureuse permet d'obtenir des données fiables et exhaustives sur la campagne agropastorale, englobant les aspects météorologiques, l'état des cultures, des pâturages, ainsi que les rendements, dans le but de soutenir la prévention des crises alimentaires et pastorales dans la région du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest (figure1).

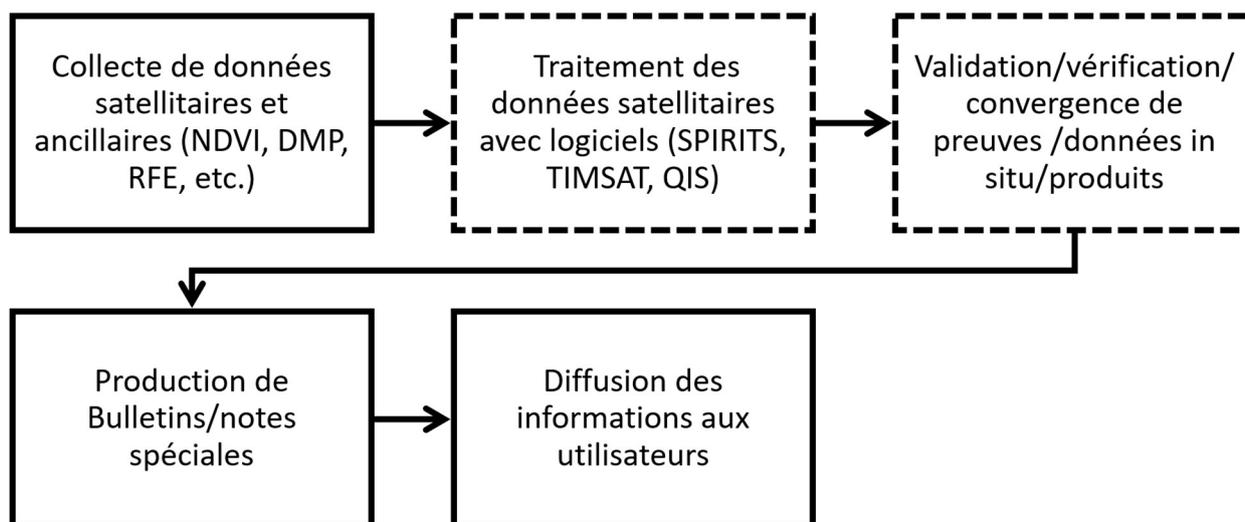


Figure1 : les différentes étapes du suivi de la campagne agropastorale

2.1 Données et outils

2.1.1 NDVI

Le Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) est un indicateur numérique produit à l'aide des bandes rouge et proche infrarouge du spectre électromagnétique. C'est un indice adapté pour mesurer, analyser et déterminer si la cible observée par les satellites contient la végétation verte vivante ou non. Cet indice a trouvé un vaste spectre d'applications dans les études végétatives et a été utilisé pour estimer les rendements des cultures et les pâturages. Il est souvent directement lié à d'autres paramètres tels que le taux de couverture du sol, l'activité photosynthétique de la plante, l'eau de surface, indice de surface foliaire et la quantité de biomasses. Le NDVI a été d'abord utilisé en 1973 par Rouse et al. de la Remote Sensing Centre de Texas A & M Université. En règle générale, la végétation saine absorbe la plus grande partie de la lumière rouge du visible qui tombe sur elle et reflète une grande partie de la lumière proche-infrarouge. En état de stress ou clairsemé, la végétation réfléchit la lumière plus le rouge visible et moins de lumière infrarouge. Sols nus reflètent par ailleurs modérément en deux la partie rouge et infrarouge du spectre électromagnétique[20].

Les canaux Rouge (R) et Proche Infra Rouge (IR) du spectre électromagnétique sont utilisés pour produire NDVI. Cet indice de Végétation est de loin, le plus utilisé dans le suivi de la dynamique saisonnière de la végétation [21]. Les données spectrales provenant des capteurs de plusieurs satellites comme : Advanced Very High Resolution Radiometer de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA/AVHRR), VEGETATION du satellite pour l'observation de la Terre (SPOT VGT), Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS TERRA), METEOSAT Second Generation (MSG).

Les acquisitions de plusieurs jours sont combinées à travers des méthodes diverses et variées pour obtenir des images plus ou moins propres, en réduisant les contaminations des nuages, les effets de réflectance directionnelle et ceux de vue Off Nadir et minimisant les effets de somme angulaires, des aérosols et de la vapeur d'eau[22]. Depuis un quart de siècle, le suivi de la végétation est conduit au Centre Régional Agrhymet (CRA) avec l'indice de végétation à différence normalisée (NDVI). Plusieurs auteurs, au nombre desquels [23-26] ont montré les performances, mais aussi les limites de cet indice dans le suivi et la caractérisation de la végétation à l'échelle globale. Les séries temporelles d'images NDVI sont utilisées pour l'étude de la dynamique de la végétation notamment dans le cadre du suivi et l'évaluation qualitatifs et quantitatifs des productions agricoles et pastorales ; c'est-à-dire pour estimer les rendements agricoles et les productions de biomasse des parcours. Ainsi, les séries temporelles d'images NDVI et de pluies estimées sont analysées dans un contexte de variabilité des pluies suivant différentes zones agroécologiques. Le coefficient de variation du NDVI est très bon pour non seulement suivre la dégradation des terres, mais aussi, démarquer la limite entre les zones bioclimatiques, désertique-sahéliennes, sahélienne - nord soudanienne[27]. Par ailleurs, une étude faite dans le sahel malien montre une relation quantitative médiocre entre les paramètres végétaux mesurés sur le terrain et l'indice de végétation. Cependant la valeur 0.05 est confirmée comme seuil d'une présence minimale de végétation[28]. Une

comparaison entre les valeurs du NDVI issues de NOAA AVHRR et les données de biomasse dérivées d'un modèle empirique de productivité du couvert herbeux qui utilise les données de pluie journalières pendant la saison de croissance de la végétation, montre une bonne corrélation (0.75), même si des différences spécifiques ont été relevées entre la biomasse potentielle et l'actuelle[24]. Cette bonne corrélation a été aussi observée aussi en comparaison avec les données mesurées in situ[29]. Cette étude a montré l'utilité des données satellitaires à haute résolution temporelle dans le suivi de l'évolution du pâturage à l'échelle locale et régionale et a situé toute l'importance de la méthode maximum value composite pour produire les images décennales ainsi que le potentiel important des séries d'images NDVI pour la quantification des paramètres phénologiques.

2.1.2 RFE TAMSAT

La méthode TAMSAT, développée par l'Université de Reading et utilisée par le système ARTEMIS de la FAO, fournit des données sur la durée de présence des nuages à sommets froids (CCD) ainsi que des images d'estimation des précipitations en millimètres par décennie pour certaines parties de l'Afrique[30]. Cette méthode utilise des données satellitaires pour estimer les précipitations à haute résolution spatiale et temporelle, et les calculs sont calibrés en utilisant des relations statistiques extraites de séries historiques de mesures au sol, mais ne requièrent pas de mesures au sol en temps réel[30]. Le RFE TAMSAT est disponible en plusieurs versions, telles que la version 3.0 et 3.1, et est accessible en ligne sur le site web de TAMSAT([30]). Le RFE TAMSAT, CHIRPS, REF FEWSNET, etc. sont utilisés pour le suivi et l'évaluation de la campagne agropastorale en Afrique de l'Ouest et du Sahel, permettant de cartographier les précipitations à grande échelle et de suivre les variations de la pluviométrie. Cet outil est précieux pour la prévision des rendements agricoles et fourragers, ainsi que pour la gestion des risques liés aux sécheresses et aux inondations[31]. Il est également utilisé pour la surveillance des conditions météorologiques et la prévision des changements climatiques, car il couvre la plus grande profondeur historique des pluies estimées par satellite. Le RFE TAMSAT est souvent utilisé en combinaison avec d'autres images satellitaires, telles que le DMP, pour obtenir des informations complètes sur la campagne agropastorale[32]. Cette approche basée sur la télédétection permet d'obtenir des informations précises et en temps quasi réel sur les conditions météorologiques et l'état des cultures et des pâturages, ce qui est essentiel pour la prise de décision en matière d'anticipation de la sécurité alimentaire, la sécurité civile et le développement durable.

2.1.3 Relation entre les indices de végétation et les pluies estimées par satellite

Au Sahel la variabilité des pluies est influencée par la variation des températures de surface des océans. Les modifications pluviométriques, notamment les tendances à la sécheresse de 1950 à 1980 ont été accompagnées d'une dégradation de la végétation[33]. La variabilité interannuelle de la production primaire nette et les précipitations, étudiée à travers une méthode statistique (comparaison de coefficient de variation [CV] de 5 classes de biomes) montre une corrélation positive et significative[34]. Plusieurs études sur les relations entre les pluies et la végétation ont été menées. Les résultats de ces travaux ont montré une bonne corrélation entre les quantités de pluies tombées (mesurées ou estimées par satellite) et les valeurs du NDVI dérivées des capteurs de NOAA AVHRR, MODIS TERRA ou SPOT VGT[21, 35, 36]

2.1.4 Dry Matter Productivity

Les produits Dry Matter Productivity (DMP) [1] sont appropriés, car ils offrent la possibilité d'estimer la production de biomasse potentielle et de la comparer à une moyenne de référence sur une série temporelle d'images de 2014 à 2023 pour la série de 300 m de résolution. La quantité de matière sèche annuelle est calculée à partir du cumul des décades de la saison pluvieuse (mai à octobre). Le résultat ainsi obtenu représente une productivité potentielle totale sur l'année considérée, exprimée en kg-MS.ha-1. La DMP (Dry Matter Productivity) est une quantification de la production de biomasse exprimée en kg de matière sèche par hectare et par jour (kgMS/ha/jour). La production de matière sèche, liée à la production primaire nette NPP (Net Primary Production), est estimée par l'utilisation du modèle [37]. Le CRA a développé un script sur ENVI IDL qui permet de faire le calcul de la production potentielle annuelle sur la zone West Africa (WA). Le résultat est donné en kg de matière sèche/ ha /an. C'est un indicateur très important pour l'évaluation de la campagne agropastorale. La production de biomasse annuelle est une composante essentielle du bilan de la campagne pastorale. On utilise les productions potentielles annuelles d'archive (2000 à n-1) pour faire des analyses comparées entre l'année en cours (n), l'année passée, la moyenne des 18 dernières années ou une année de référence. Le logiciel SPIRITS a été utilisé pour faire les calculs, notons que le logiciel TAMSAT peut aussi être utilisé.

2.1.5 Rendements fourragers mesurés in situ

En se référant aux travaux de Boudet, (1977) et Hiernaux (1986), la zone saharienne qui totalise en moyenne 150 mm de pluviosité annuelle permet le développement des plantes à cycle court. Malgré le caractère marginal de la production fourragère, les éleveurs nomades l'exploitent en se déplaçant avec leurs troupeaux de camelins et caprins au grès de la disponibilité des pâturages et des points d'eau. La sous zone nord-sahélienne comprise entre 150 et 300 mm dispose d'un couvert ligneux ne dépassant guère 2% et une production de biomasse pouvant atteindre 400 kg de MS/ha[38, 39]. Cette zone est actuellement convoitée à la fois par les éleveurs nomades et transhumants. La sous-zone sahélienne typique (300-450 mm) est caractérisée par une végétation très différenciée suivant les principales unités géomorphologiques. Sur le terrain sablonneux, le couvert ligneux ne dépasse guère 5%. La productivité augmente du Nord vers le Sud, elle est de 500 à 2000 kg MS/ha. Vers l'isohyète 300 mm la capacité de charge est estimée à 17 jrs /an/ha et 57 jrs/an/ha vers l'isohyète 400 mm. La sous-zone sud-sahélienne plus arrosée (450-600 mm) avec un taux de recouvrement ligneux variant du nord vers le sud de 5 à 30%. La biomasse herbacée appétable varie de 1000-1500 kg MS /ha correspondant à une capacité de charge de 50 70 jrs/an/h. La méthode de collecte des données in situ par le MEIA tire son origine des études menées de 1986 à 1988 sur le suivi de la production fourragère par satellite et les mesures au sol[40, 41]. Cette étude a été réalisée dans la partie pastorale du centre du Niger, en phase test. Le succès enregistré a suscité un besoin d'en faire un outil national de suivi et d'évaluation des pâturages. Dans un souci de prendre en compte toute la diversité des zones agroécologiques du pays, les cadres du MEIA ont installé des sites complémentaires de suivi sur toute la partie pastorale. Une base de données tabulaire de rendements fourragers est mise à jour en continu, la série de rendements fourragers va de 1986 à 2023, elle permet de faire entre autres les validations des produits estimés par satellite ou d'aider à la calibration des mesures satellitaires.

2.2. Méthodes

2.2.1. Les conditions requises pour faire un bon suivi de la campagne agropastorale

De nombreuses institutions et individus s'engagent dans le suivi de la campagne agropastorale en utilisant les produits d'observation de la Terre. Cependant, il est essentiel de rappeler que le simple fait de maîtriser les concepts de la télédétection ou de savoir effectuer des calculs à partir d'images satellites ne suffit pas. Il est indéniable que disposer de connaissances de base en télédétection et comprendre le fonctionnement d'un Système d'Information Géographique (SIG) sont des atouts, mais il est tout aussi crucial de posséder une compréhension approfondie des cultures, des pâturages et de la situation alimentaire. Pour mener à bien le suivi de la campagne agropastorale, il est recommandé de :

- Définir clairement les objectifs de son organisation ou de son initiative. Il est essentiel de savoir ce que l'on cherche à atteindre par le suivi de la campagne ;
- Identifier les principales institutions au niveau national et régional qui fournissent ou utilisent des données pour le suivi agropastoral. La collaboration avec ces acteurs est précieuse ;
- Évaluer soigneusement l'utilité et la pertinence des sources de données disponibles dans son pays et sur les plateformes internationales. Il est important de s'assurer que les données répondent aux besoins spécifiques du suivi ;
- Acquérir des connaissances de base en agronomie, en écologie, en physiologie végétale et en géographie. Cette compréhension approfondie des domaines pertinents permettra d'interpréter correctement les données et de prendre des décisions éclairées.

En résumé, le suivi de la campagne agropastorale est un processus complexe qui nécessite une approche multidisciplinaire. Il ne se limite pas à l'utilisation d'outils technologiques, mais repose également sur une compréhension approfondie des aspects agricoles, environnementaux et géographiques. En combinant ces compétences et en définissant clairement ses objectifs, on peut contribuer de manière significative à la gestion et à l'amélioration de la campagne agropastorale.

2.2.2. Préparation des données et informations pour le suivi de la végétation

La préparation des données est un travail important du suivi de la végétation. Elle consiste à constituer une base de données historique d'images satellitaires, de connaissances, d'informations et de couches vectorielles ancillaires, telles que les limites administratives des pays, les limites des zones pastorales, les localités, les mares, les puits, les routes, etc. Il est également important de suivre ce que font les autres institutions et collègues en termes de prévision saisonnière, afin de collecter toutes les informations conjoncturelles et prévisionnelles permettant de faire une meilleure interprétation du déroulement de la campagne en vue de produire des informations fiables.

2.2.3 Traitement des séries temporelles d'images

Lors de la manipulation des séries temporelles, il est intéressant de calculer les statistiques à long terme ou historiques pour l'ensemble de la série. Cela signifie que pour chaque pixel, les fonctions statistiques à long terme telles que la moyenne, la médiane, les percentiles, le minimum ou le maximum sont calculées sur l'ensemble ou une partie de la série temporelle. Ces images sont ensuite utilisées comme référence pour le calcul des anomalies. Les chiffres relatifs aux précipitations correspondent souvent approximativement aux valeurs naturelles (en mm), mais lorsque des statistiques sont dérivées, les résultats peuvent correspondre à des nombres réels qui pourront, soit être stockés en tant que tels (avec un format de stockage plus important) soit être approximés aux valeurs naturelles les plus proches. Les résultats des fonctions statistiques, telles que la moyenne, le maximum ou le minimum sont généralement des nombres proches du réel. Cela implique également que le format de ces images ainsi obtenues est différent de celui des images d'origine. Les images présentant les écarts (anomalies) sont calculées en comparant l'image actuelle (décade, mois ou cumul de la saison) à une situation de référence, telle que la moyenne de la série long terme, l'année précédente ou une année particulièrement bonne ou mauvaise. Il existe différentes façons de calculer et de présenter les anomalies.

2.2.4 Calcul des anomalies

La carte d'anomalie représente l'écart par rapport à une situation de référence, telle que l'année dernière, la moyenne des cinq dernières années, la médiane ou la moyenne de toute la série. En ce qui concerne le suivi des cultures et des pâturages, il s'agit d'une mesure quantitative qui exprime le degré de différence d'une variable (cumul de précipitations RFE, le NDVI, DMP, LAI, FAPAR, etc.) à un certain moment par rapport aux conditions de référence. L'écart peut être :

- Absolu : les valeurs moyennes d'une variable sont directement soustraites des valeurs actuelles pour chaque pixel de l'image. Les valeurs de l'écart conservent la même unité de mesure que les valeurs d'origine et elles peuvent être négatives.
- Relatif : un écart relatif est exprimé sous forme de pourcentage par rapport à la situation de référence pour chaque pixel de l'image. Il sert souvent à estimer les anomalies liées aux précipitations par rapport à la situation moyenne.
- Normalisé (scores centrés réduits) ou indices relatifs de plages : l'écart entre la valeur actuelle et la moyenne des années précédentes est divisé par l'écart-type calculé à partir des valeurs de toutes les années précédentes.

La plupart de ces indicateurs d'anomalies sont redondants et leur utilisation dépend du contexte spécifique et des préférences des utilisateurs, nous utilisons cette redondance dans la convergence des preuves pour améliorer la fiabilité des informations.

2.2.5 Production des profils temporels d'images

On calcule les valeurs moyennes du ICN dérivé du NDVI pour chaque décade, pour chaque unité administrative, elles sont au nombre de 4195 pour les pays du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest. Ces valeurs sont ensuite représentées dans des graphiques qui permettent de suivre la croissance de la végétation dans le temps et de suivre la variation décadaire des quantités de pluies enregistrées comparées à la moyenne de la période. Pour être rigoureux dans les analyses, il est important d'avoir la même profondeur historique pour les données de pluie et de végétation. Pour mieux caractériser l'évolution de la campagne en cours, on ajoute sur les mêmes graphiques des valeurs historiques de référence (valeurs maximales, minimales, moyennes, année précédente). On ajoute également l'histogramme de la moyenne historique des pluies par décade et les pluies de l'année en cours. Ce graphique permet de suivre la dynamique de la végétation et de la pluviométrie, et d'avoir des éléments d'explication du comportement de la végétation par rapport aux régimes pluviométriques de la saison, ainsi que de comparer aux références.

2.2.6 Agrégation par unité administrative

Des statistiques agrégées spatialement sur les 4195 unités administratives du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest peuvent être extraites des séries temporelles d'images de cumul RFE, le SPI, et la biomasse, et les comparaisons pour observer la variation temporelle de ces variables, ce qui facilitera la comparaison des indicateurs de l'année en cours par rapport aux références, à l'échelle d'une région particulière ou une classe thématique comme l'occupation des terres. Elles sont spécifiquement calculées, pour le DMP et RFE TAMSAT de l'année en cours, la moyenne à long terme, l'année précédente, la médiane et la moyenne des cinq dernières années et même pour d'autres indicateurs, sur base des limites administratives (régions, provinces, willaya, commune, département, etc.) et/ou sur base des types d'occupation/d'utilisation du sol (zone agricole, pastorale) ou la combinaison des deux. La comparaison avec le profil saisonnier actuel. Les valeurs des statistiques agrégées les plus simples sont des moyennes de tous les pixels appartenant à une unité spatiale. Il est ensuite possible de les affiner en appliquant au sein de l'unité spatiale, un masque sur les informations thématiques uniques (l'utilisation du sol). Pour affiner davantage ces statistiques agrégées. Une fois extraites, les statistiques agrégées doivent être stockées dans des fichiers ou une base de données de sorte qu'elles puissent être accessibles et interrogées sous forme de profils temporels lissés ou non lissés.

2.2.7 Évaluation de la biomasse par utilisation du DMP

La disponibilité fourragère en quantité et en qualité constitue un des facteurs importants pour comprendre la pratique du pastoralisme au Sahel. L'intensité de la saison des pluies et de sa répartition spatiale détermine le stock potentiel de fourrage disponible pour la campagne agropastorale. En fonction de la situation, les éleveurs anticipent ou retardent leur mouvement de transhumance pour optimiser leur système de production. Les zones d'accueil doivent faire face à un risque de concentration des animaux avec pour corollaire, les risques d'épizootie, les conflits agriculteurs – éleveurs, le surpâturage et la dégradation de l'environnement.

Dès lors, Il est indispensable au niveau régional, de renforcer le dispositif d'évaluation de la production de biomasse d'informer et de situer les déficits fourragers dans les zones pastorales sahéniennes. Considérant l'emprise géographique de la zone pastorale concernée, les produits Dry Matter productivity (DMP) sont appropriés, car ils offrent la possibilité d'estimer la production de biomasse potentielle et de la comparer à une moyenne de référence une série de 2014 à 2023 de 300 m de résolution spatiale. La quantité de matière sèche annuelle est calculée à partir du cumul des décades de la saison des pluies (mai à octobre). Le résultat ainsi obtenu représente une productivité potentielle totale sur l'année considérée, exprimée en kg MS ha-1.

2.2.8 Convergence de preuves, vérification et validation des informations

La télédétection permet de collecter une grande quantité de données à distance, mais il est essentiel de s'assurer de leur qualité et de leur précision. La validation des cartes permet de vérifier si les informations fournies sont correctes et fiables pour une prise de décision éclairée. Une validation rigoureuse des cartes garantit que les décisions prises en se basant sur ces données sont éclairées et pertinentes concernant les phénomènes étudiés. Dans le cadre du suivi de la campagne agropastorale, nous mobilisons diverses sources d'informations pour garantir une approche exhaustive et précise. Ces sources comprennent les rapports du terrain transmis par les Groupes de Travail de Proximité (GTP) mis en place par AGRHYMET, les missions de vérification sur le terrain organisées pour vérifier des anomalies, les missions conjointes impliquant le CILSS, la FAO, le FEWS NET, les États. De plus, nous nous appuyons sur la convergence des preuves, en exploitant les produits générés par des institutions partenaires spécialisées dans des domaines spécifiques, ce qui nous permet d'obtenir des informations détaillées sur des phénomènes particuliers. Parallèlement, nous utilisons des moyens de communication modernes tels que les appels téléphoniques et les réseaux sociaux pour recueillir des informations du terrain, grâce à nos partenaires disposant de réseaux d'agents qui assurent une surveillance sur le terrain. Afin de garantir la qualité et la fiabilité des données collectées, nos points focaux techniques ont été formés à l'utilisation de smartphones et de tablettes, en utilisant l'outil Kobocollect. Cette technologie nous permet de centraliser les données réelles sur un serveur au sein d'AGRHYMET. Ces données servent à confirmer, nuancer et ajuster les informations et les produits que nous diffusons, renforçant ainsi la pertinence de notre démarche de suivi.

2.2.9 La fréquence de diffusion des informations

Il est important de faire la différence entre la fréquence du suivi et la fréquence de publication des rapports sur l'état des cultures et des pâturages. La fréquence de publication dépend d'un certain nombre de facteurs, notamment :

- Les besoins (ponctuels ou réguliers) de l'utilisateur final ;
- La capacité à produire des rapports ;
- La rapidité à laquelle les conditions végétatives évoluent ;

En règle générale, les rapports périodiques sur l'état des cultures et des pâturages sont publiés dans des bulletins mensuels à AGRHYMET CCR AOS_. Cependant, il peut arriver que des notes spéciales soient produites pour les décideurs qui suivent l'évolution des conditions de la végétation et de la pluviométrie au cours de l'année. Des rapports spécifiques sont généralement produits après un événement majeur comme le PREGEC. Lorsque l'on observe un changement important sur une courte période, la fréquence des rapports peut être augmentée et devenir décadaire ou hebdomadaire, plutôt que mensuelle. Depuis plus de 10 ans, AGRHYMET a cédé la production des bulletins décadaire aux pays du CILSS qui disposent suffisamment de cadre et de données accessibles au niveau des Stations MESA installées avec le concours de l'UE et l'UA. La fréquence de suivi, quant à elle, dépend de la disponibilité des données et des ressources pour effectuer les relevés nécessaires. L'impact du pâturage par des ovins sur la végétation pendant une culture intercalaire piège à nitrates mixte a été étudié en mesurant le NDVI des parcelles avant et après le pâturage à l'aide de vols de drones avec caméra multispectrale. Cette étude suggère d'appliquer une pression de pâturage supérieure pour mieux exploiter la fonction de lutte contre les mauvaises herbes. Bref, la fréquence de publication des rapports sur l'état des cultures et des pâturages dépend de plusieurs facteurs, tandis que la fréquence de suivi dépend de la disponibilité des données et des ressources.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Résultats

Le dispositif permet chaque année de produire plusieurs cartes et graphiques qui sont analysés conjointement pour élaborer des informations fiables qui sont diffusées dans les bulletins et notes spéciales pour la prise de décision.

3.1.1 Anomalies d'installation de la végétation

Les cartes d'anomalie d'installation de la végétation, elles sont produites à un pas de temps de la fin juin à la fin juillet soit 4 cartes, elles sont confrontées aux résultats de prévision saisonnière pour avoir une idée sur l'issue probable de la campagne sur la base des prévisions (figure2).

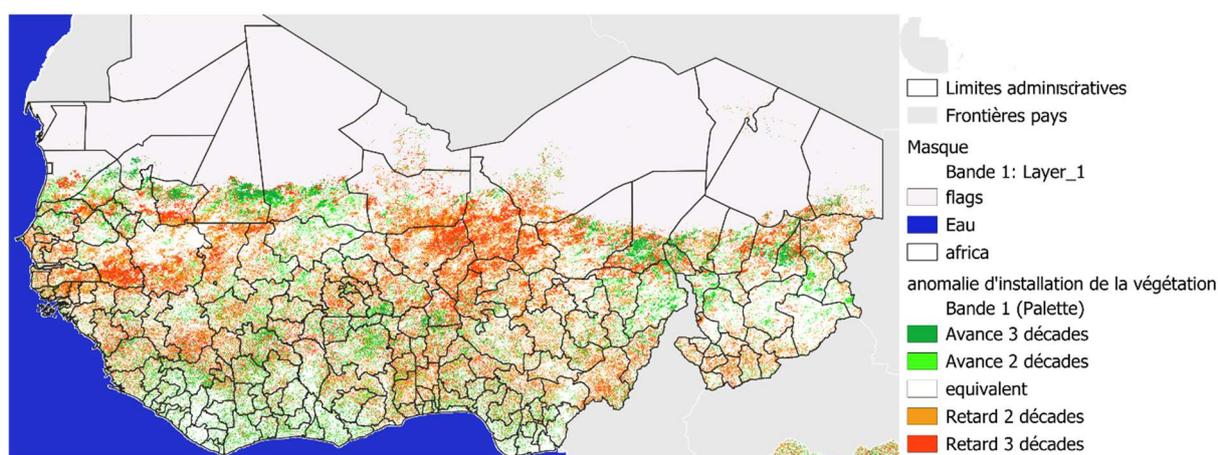
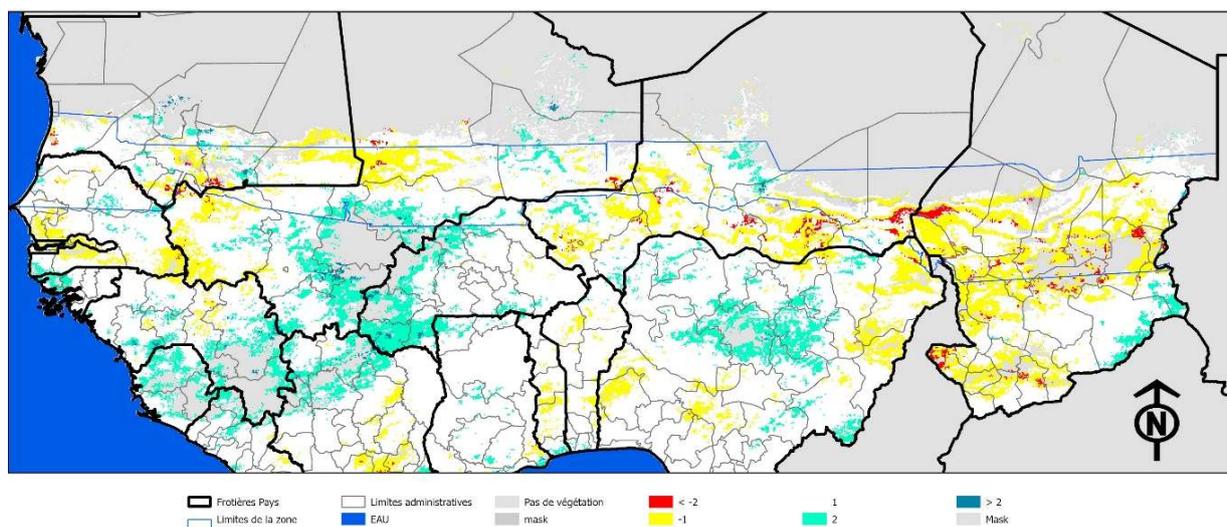


Figure2 : Anomalie de démarrage de l'installation de la végétation

3.1.2 Anomalies de pluies

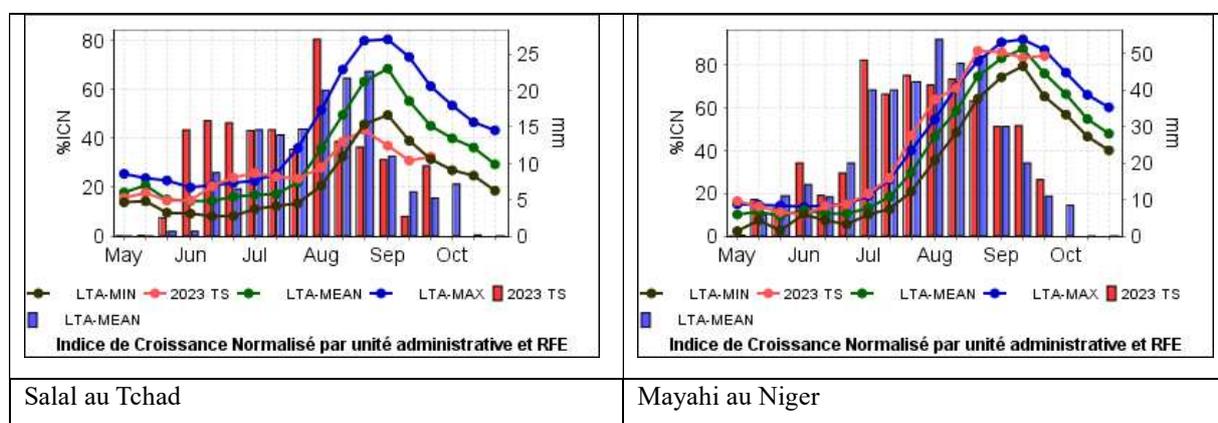
Pour chaque décade on calcul les cumuls à date et les anomalies telles que les indices de précipitation standardisés (IPS), ces produits cartographiques sont réalisés de mai à octobre ce qui permet de suivre le profil pluviométrique de la saison d'avoir une variable explicative du comportement de la végétation. Elles sont confrontées aux cartes dérivées des indices de végétation de façon continue toute l'année (figure3).



Figures3 : Indice de précipitation standardisé d'août 2023

3.1.3 Profil de la végétation et de la pluie

Profils comparés de la végétation et de la pluie de l'année en cours superposés avec les références comme le maximum, le minimum et la moyenne sont réalisés pour les 4195 unités administratives du sahel et de l'Afrique de l'Ouest. Des mises à jour sont faites toutes les décades de mai à octobre, c'est un produit très efficace et pertinent pour expliquer le comportement de la végétation (figure4).



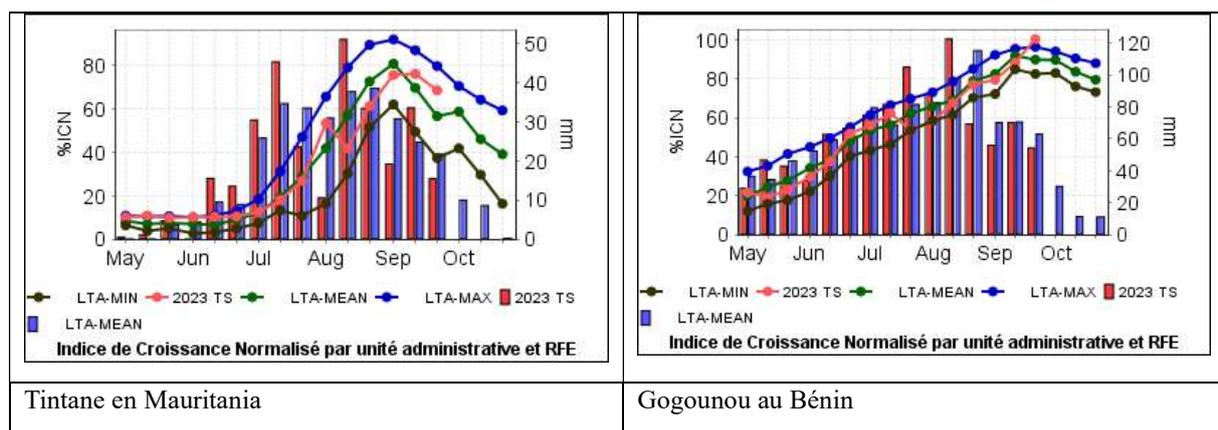


Figure4 : Profils comparés de la végétation

3.1.4 Rendement fourrager et anomalies

La production de biomasse est mise à jour toutes les décades ce qui permet d'avoir en continu une idée sur la disponibilité en fourrage pour le bétail. En somme 18 cartes de production de biomasse sont réalisées de mai à octobre, ces cartes sont à la fois comparées à celle de l'année dernière et à la moyenne. Pour améliorer l'interprétation des agrégations, des cartes sont faites pour les 4195 unités administratives (figure5,6, 7).

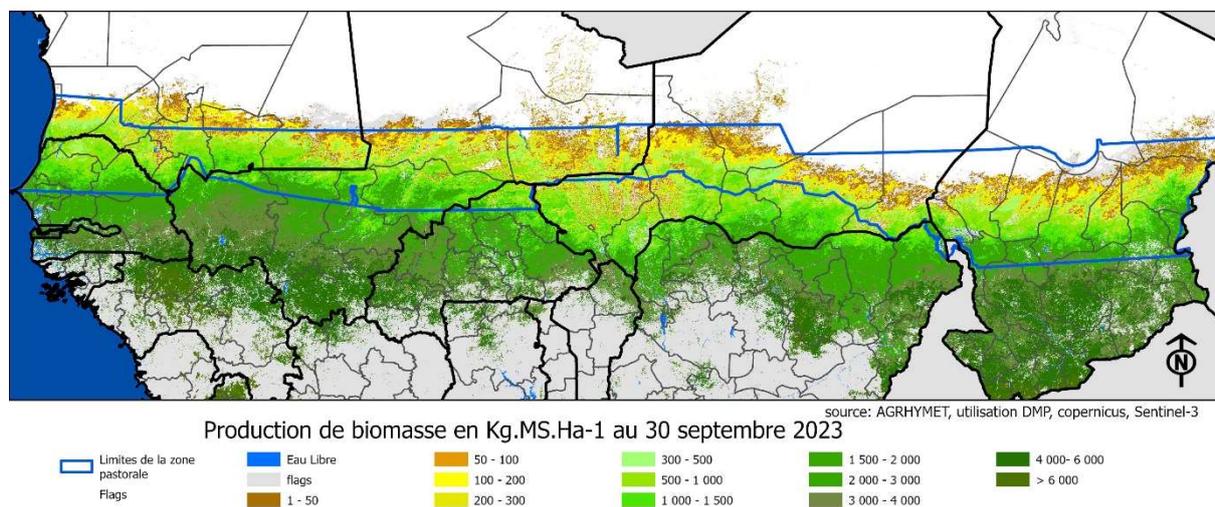


Figure5 : rendement fourrager en Kg/ha pour l'année 2023

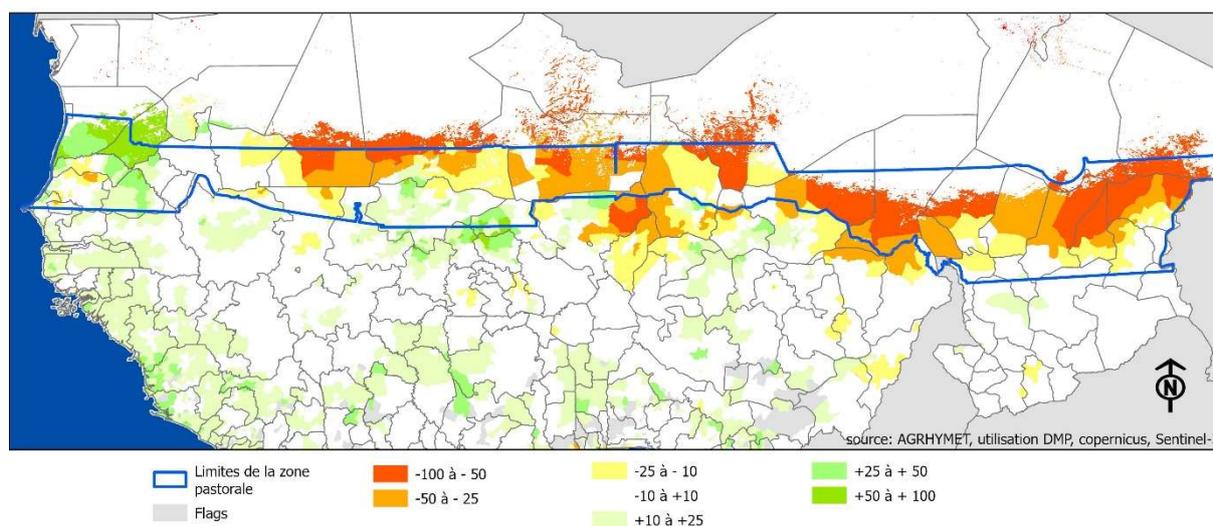


Figure 6 : comparaison de la production de biomasse au 30 septembre 2023 par rapport à la moyenne à la même période

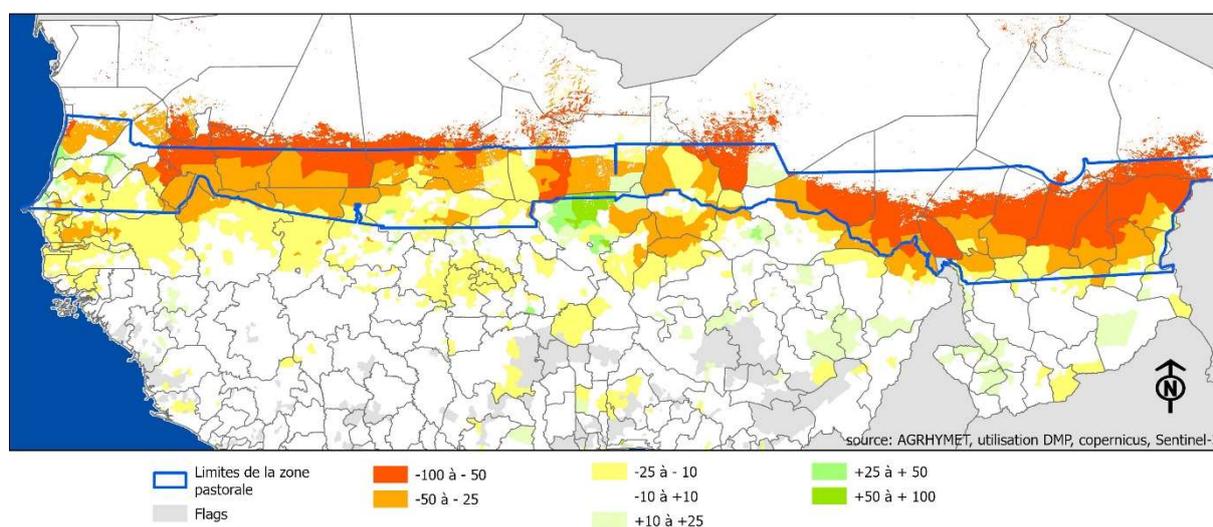


Figure7 : comparaison de la production de biomasse au 30 septembre 2023 par rapport à l'année dernière à la même période

3.1.5 Capacité d'accueil en nombre de jours par hectare et par Unité Bétail Tropical

Une carte de la capacité de charge est produite en fin de croissance de la végétation pour donner l'information qui permet de renseigner les décideurs pour évaluer les quantités d'aliments complémentaires à rechercher en cas de déficit.

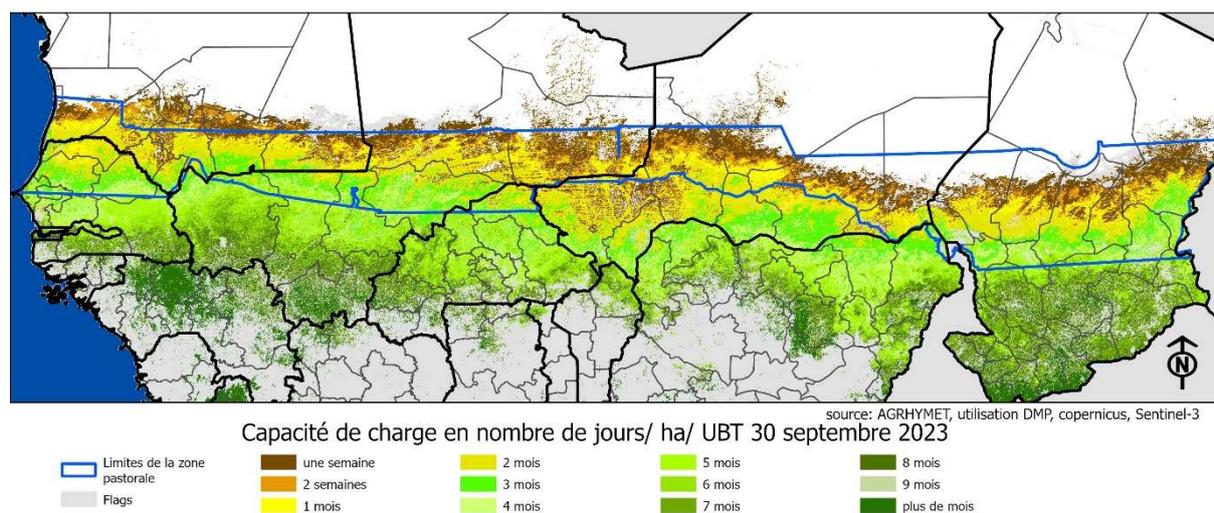


Figure8 : Capacité d'accueil en nombre de jours par hectare et par Unité Bétail Tropical (UBT)

3.2. Discussion

3.2.1 Démarrage de la végétation

Le démarrage de la végétation au Sahel est fortement influencé par les précipitations, qui sont souvent rares et irrégulières dans cette région semi-aride d'Afrique de l'Ouest[11, 12, 42]. Le démarrage de la végétation est étroitement lié au début de la saison des pluies. En raison du démarrage difficile de la saison des pluies, les stades de développement de la végétation peuvent varier considérablement d'une région à l'autre. Les anomalies de pluie peuvent avoir un impact significatif sur le démarrage de la végétation. Une saison des pluies anormalement sèche peut retarder le démarrage de la végétation, tandis qu'une saison des pluies anormalement humide peut favoriser un démarrage précoce de la végétation[43]. La variabilité des précipitations au Sahel est étroitement liée aux phénomènes climatiques tels que l'oscillation atlantique multidécennale (AMO) et l'oscillation australe El Niño - Oscillation australe (ENSO)[43]. Des études ont montré l'existence de rétroactions positives entre la végétation et les précipitations au Sahel, principalement dues à un mécanisme de recyclage de l'humidité. Cela signifie que la végétation peut jouer un rôle dans l'amplification et la prolongation des épisodes de sécheresse ou de pluie. Les changements climatiques, tels que l'augmentation des températures et la variabilité accrue des précipitations, peuvent avoir des impacts importants sur le démarrage de la végétation au Sahel. Par conséquent, il est essentiel de développer des systèmes de veille agroclimatique pour aider les agriculteurs à s'adapter à ces changements[44, 45].

3.2.2 Profil temporel de la végétation combiné à la pluie estimée suivant les unités administratives

Le profil temporel de la végétation combiné à la pluie estimée suivant les unités administratives est une méthode utilisée pour suivre la croissance de la végétation en relation avec les précipitations dans une région donnée. Cette méthode implique la collecte de données sur la croissance de la végétation à partir d'images satellitaires, telles que le NDVI, ainsi que des données sur les précipitations estimées à partir de stations météorologiques ou de modèles de prévision. Les données sont ensuite analysées pour déterminer les relations entre la croissance de la végétation et les précipitations dans différentes unités administratives, telles que les régions ou les districts. Cette méthode peut fournir des informations précieuses sur les conditions de croissance de la végétation dans une région donnée, ainsi que sur les tendances à long terme. Les résultats ont montré que la croissance de la végétation était étroitement liée aux précipitations, avec une croissance maximale observée pendant la saison des pluies. Le profil temporel de la végétation combiné à la pluie estimée suivant les unités administratives est une méthode utile pour suivre la croissance de la végétation en relation avec les précipitations dans une région donnée. Cette méthode peut fournir des informations précieuses pour la planification et la prise de décision dans de nombreux domaines, tels que l'agriculture, la gestion des ressources en eau et la prévention des catastrophes naturelles.

3.2.3 Analyse du cumul saisonnier de pluies et anomalie des pluies

Le cumul saisonnier des pluies fait référence à la quantité totale de précipitations qui tombe pendant une saison donnée. Une anomalie des pluies, quant à elle, est une déviation par rapport à la normale, qu'elle soit supérieure ou inférieure, dans une région donnée et pendant une période de temps spécifique. Les études sur le cumul saisonnier des pluies et les anomalies des pluies peuvent fournir des informations précieuses sur les modèles climatiques et les tendances à long terme. Pour mieux comprendre les régimes pluviométriques, il est utile d'analyser la répartition des pluies selon les saisons ou les mois. En résumé, le cumul saisonnier des pluies et les anomalies des pluies sont des concepts importants pour comprendre les modèles climatiques et les tendances à long terme. Les études sur ces sujets peuvent fournir des informations précieuses pour la planification et la prise de décision dans de nombreux domaines, tels que l'agriculture, la gestion des ressources en eau et la prévention des catastrophes naturelles.

L'analyse des images satellitaires, telles que le NDVI (Indice de Végétation par Différence Normalisée) et ses dérivés, combinés à des données sur les précipitations, permet de suivre et d'évaluer la campagne agropastorale au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Cette approche offre des informations précieuses sur des aspects tels que le cumul saisonnier de pluies, l'anomalie des pluies, le démarrage de la végétation et la progression du front de végétation. Les études ont montré des relations entre les anomalies de pluie et la croissance de la végétation, ce qui souligne l'importance de surveiller les précipitations pour prédire les rendements agricoles[46, 47]. La corrélation entre les cumuls saisonniers de pluies et les dates de démarrage et de fin de la période végétative a également été étudiée[48]. En combinant ces informations, il est possible de créer des profils temporels de la végétation et d'estimer les pluies suivant les unités administratives, ce qui peut être utile pour la planification agricole et la prise de décision[46].

3.2.4 Analyse de l'anomalie standardisée des pluies

L'anomalie standardisée des pluies est une mesure statistique qui permet de quantifier l'écart entre les précipitations observées et la moyenne sur une période donnée. Elle est souvent utilisée pour évaluer les conditions de sécheresse ou d'excès de pluie. Pour tenir compte de la situation climatologique spatiale et temporelle, il faut calculer également l'écart-type de cette anomalie par rapport à la normale, appelée "anomalie standardisée". Ainsi, une variation de +2°C peut être plus significative qu'une autre de +3°C lorsque la première provient d'une région à température très stable temporellement alors que la seconde provient d'une région à forte variation [2, 10, 49-51]. Les études sur les anomalies standardisées des pluies peuvent fournir des informations précieuses sur les modèles climatiques et les tendances à long terme [5, 45]. Les anomalies standardisées des pluies peuvent être utilisées pour diagnostiquer si une année est pluvieuse ou sèche au Sahel [5, 52-54]. Les anomalies de pluies ont un impact significatif sur la croissance de la végétation au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Voici quelques-uns des effets observés :

- Disponibilité de l'eau : les pluies sont essentielles pour l'approvisionnement en eau des plantes. En cas de déficit pluviométrique, la disponibilité de l'eau peut devenir un facteur limitant pour la croissance des plantes.
- Rendements agricoles : dans une région où l'agriculture est principalement pluviale, les anomalies de pluies peuvent avoir un impact direct sur les rendements des cultures. Les sécheresses prolongées ou les pluies excessives peuvent entraîner des pertes de récoltes importantes.
- Variabilité intrasaisonnière : Le Sahel est caractérisé par une forte variabilité intrasaisonnière des précipitations. Cette variabilité a un impact sur les écosystèmes pendant la croissance de la végétation. Des études ont montré que la croissance de la végétation est sensible aux anomalies de pluies au cours de la saison des pluies [46].
- Végétation adaptée : La végétation du Sahel a développé des adaptations pour faire face à la variabilité des précipitations. Certaines espèces végétales ont des cycles phénologiques différents en fonction de la disponibilité de l'eau, ce qui leur permet de survivre dans des conditions de sécheresse.
- Événements hydrologiques extrêmes : Les anomalies de pluies peuvent également entraîner des événements hydrologiques extrêmes tels que des inondations. Ces événements peuvent avoir un impact négatif sur la végétation en détruisant les cultures et en perturbant les écosystèmes.

3.2.5 Rendement fourrager et capacité d'accueil

L'utilisation du DMP permet de produire les cartes de production de biomasse et de rendements fourragers pour chacune des années (figure2) et de faire toutes les analyses statistiques permettant de bien apprécier quantitativement la situation pastorale. Il est possible par exemple d'en déduire la Capacité de Charge (figure3) ou des cartes de comparaison de la production de la saison courante à ces références. Le rendement fourrager peut-être estimé à l'aide de différentes méthodes, telles que la collecte de

données sur les rendements des cultures fourragères dans une région donnée. Cependant, une méthode spécifique pour estimer le rendement fourrager est l'utilisation du DMP (Dry Matter Productivity), qui est un modèle de prédiction de la production de matière sèche des cultures fourragères. Le DMP est basé sur des données satellitaires telles que le NDVI (Indice de Végétation par Différence Normalisée) et les précipitations, ainsi que sur des données de terrain telles que la hauteur de la végétation et la densité de la canopée. Le DMP est utilisé pour estimer la production de matière sèche des cultures fourragères, qui est ensuite convertie en rendement fourrager en utilisant des coefficients de conversion appropriés. Bref, le rendement fourrager peut être estimé à l'aide de différentes méthodes, telles que la collecte de données sur les rendements des cultures fourragères dans une région donnée. Cependant, l'utilisation du DMP est une méthode spécifique pour estimer le rendement fourrager en utilisant des données satellitaires et de terrain. Cette méthode peut fournir des informations précieuses sur la productivité des cultures fourragères dans une région donnée, ce qui peut être utile pour les agriculteurs, les planificateurs agricoles et les chercheurs qui s'intéressent à l'amélioration de la productivité des cultures fourragères et à la gestion des ressources fourragères[40, 41].

3.2.6 Comparaison de la production de l'année en cours à celle de l'année précédente et à la moyenne

La comparaison de la production de biomasse fourragère de l'année en cours avec la moyenne et la production de l'année précédente peut fournir des informations précieuses sur les variations de la productivité des cultures fourragères dans une région donnée. Cela peut être utile pour les agriculteurs, les planificateurs agricoles et les décideurs politiques pour évaluer l'impact des anomalies climatiques sur la disponibilité des aliments pour le bétail et prendre des mesures d'adaptation appropriées. Les recherches indiquent que les variations temporelles et géographiques des conditions de production agricole entraînent des différences de production de fourrage[55]. Par conséquent, il est important de prendre en compte ces variations lors de la comparaison de la production de biomasse fourragère d'une année à l'autre. Dans le contexte du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest, où les précipitations sont souvent le facteur limitant pour la croissance des cultures, les anomalies de pluie peuvent avoir un impact significatif sur la production de biomasse fourragère. Des pluies abondantes peuvent entraîner une augmentation de la production de biomasse, tandis que des pluies insuffisantes peuvent entraîner une diminution de la production de biomasse tout comme une mauvaise distribution temporelle. La disponibilité de biomasse fourragère adéquate est essentielle pour assurer une alimentation adéquate du bétail et maintenir la productivité des systèmes d'élevage. Alors, la surveillance de la production de biomasse fourragère et la comparaison avec la moyenne et la production de l'année précédente peuvent aider à identifier les zones à risque de pénurie de fourrage et à prendre des mesures d'adaptation appropriées, telles que l'importation de fourrage, la mise en place de programmes de stockage de fourrage et la mise en place de systèmes de gestion des pâturages pour optimiser l'utilisation de la biomasse disponible.

3.2.7 Capacité de charge

La capacité d'accueil en nombre de jours par hectare et par Unité Bétail Tropical (UBT) est une mesure de la quantité de fourrage disponible pour le bétail dans une région donnée. Cette mesure est importante pour les éleveurs, car elle leur permet de planifier la gestion des pâturages et de s'assurer que leurs animaux ont suffisamment de nourriture pour maintenir leur santé et leur productivité. Voici quelques informations sur la capacité d'accueil en nombre de jours par hectare et par UBT, basées sur les résultats de la recherche : la capacité d'accueil en nombre de jours par hectare dépend de la quantité de biomasses fourragères disponibles dans une région donnée. Cette quantité peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que les conditions climatiques, les pratiques agricoles et les variétés de plantes utilisées[56]. La capacité d'accueil en UBT est une mesure de la quantité de fourrage nécessaire pour nourrir un UBT pendant une période donnée. Cette mesure est souvent utilisée pour planifier la gestion des pâturages et pour estimer le nombre d'animaux qu'un pâturage peut soutenir[57]. Les équivalences en UBT peuvent varier en fonction de la région et de l'espèce animale considérée. Une vache peut être équivalente à 0,8 UBT, tandis qu'un mouton peut être équivalent à 0,12 UBT[58]. La capacité d'accueil en nombre de jours par hectare et par UBT peut être estimée à l'aide de différentes méthodes, telles que la collecte de données sur les rendements des cultures fourragères et la mesure de la biomasse disponible dans une région donnée[56, 59]. En résumé, la capacité d'accueil en nombre de jours par hectare et par UBT est une mesure importante pour les éleveurs, car elle leur permet de planifier la gestion des pâturages et de s'assurer que leurs animaux ont suffisamment de nourriture pour maintenir leur santé et leur productivité. Cette mesure peut être estimée à l'aide de différentes méthodes, telles que la collecte de données sur les rendements des cultures fourragères et la mesure de la biomasse disponible dans une région donnée.

3.2.8 Diffusion des informations et produits

Les agriculteurs s'adaptent aux anomalies de pluie dans leur région de différentes manières, en fonction des conditions spécifiques et des ressources disponibles. Voici quelques-unes des stratégies couramment utilisées par les agriculteurs pour faire face à la variabilité des précipitations : Diversification des cultures : les agriculteurs peuvent planter une variété de cultures avec des besoins en eau différents, ce qui leur permet de mieux faire face aux fluctuations des précipitations[60]. Utilisation de techniques de conservation des eaux : Les agriculteurs peuvent mettre en place des techniques telles que l'irrigation goutte à goutte, la construction de digues et la plantation d'arbres pour conserver l'eau et réduire les pertes par évaporation. Utilisation de semences résistantes à la sécheresse : Les agriculteurs peuvent choisir des variétés de semences qui sont mieux adaptées aux conditions de sécheresse, ce qui leur permet de maintenir leur production même en cas de faibles précipitations. Stockage de l'eau de pluie : Les agriculteurs peuvent collecter et stocker l'eau de pluie pendant les périodes de fortes précipitations pour une utilisation ultérieure pendant les périodes de sécheresse. Pratiques de gestion des sols : Les agriculteurs peuvent adopter des pratiques telles que la conservation des sols, la rotation des cultures et l'ajout de matière organique pour améliorer la capacité de rétention d'eau de leurs sols et réduire les pertes par ruissellement[60]. Accès à l'information météorologique : Les agriculteurs peuvent utiliser des prévisions météorologiques pour planifier leurs activités agricoles et prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques liés aux précipitations[61]. Diversification des sources de revenus : Les agriculteurs peuvent chercher des sources de revenus alternatives, telles que l'élevage ou la transformation des produits agricoles, pour réduire leur dépendance aux cultures sensibles aux précipitations[62]. En combinant ces différentes stratégies, les agriculteurs peuvent améliorer leur résilience face aux anomalies de pluie et maintenir leur production agricole même dans des conditions climatiques changeantes.

Il existe plusieurs canaux de communication que les producteurs peuvent utiliser pour recevoir des informations sur les anomalies de pluie dans leur région. Voici quelques-uns des canaux les plus appropriés : Réseaux sociaux : les réseaux sociaux sont un canal de communication essentiel pour les producteurs. Les entreprises agricoles peuvent utiliser les réseaux sociaux pour communiquer directement avec les producteurs et leur fournir des informations sur les conditions météorologiques et les pratiques agricoles. Les réseaux sociaux peuvent également être utilisés pour créer une communauté de producteurs qui partagent des informations et des conseils entre eux. Emails et newsletters : Les emails et les newsletters sont un moyen efficace de communiquer des informations importantes aux producteurs. AGRHYMET CCR AOS envoie des emails et des newsletters régulièrement pour informer les producteurs des dernières tendances et des prévisions météorologiques. Les sites web constituent un autre canal de communication important pour les institutions. Les utilisateurs peuvent accéder à des informations sur les situations agricoles, pastorales, les prévisions météorologiques et les tendances du marché en visitant les sites web du CILSS. Par ailleurs les événements et les salons agricoles, les semaines pastorales sont des occasions pour les producteurs de rencontrer des experts de l'industrie et d'obtenir des informations sur les dernières tendances et les pratiques agricoles et pastorales. Les institutions peuvent utiliser ces événements pour communiquer directement avec les producteurs et leur fournir des informations sur les anomalies de pluie, des rendements agricoles et fourragers dans leur région. Aussi, les applications mobiles peuvent être utilisées pour fournir des informations en temps réel ou quasi réel sur les conditions météorologiques et les pratiques agricoles. Les producteurs peuvent télécharger des applications mobiles pour accéder à des informations sur les anomalies de pluie, de biomasse dans leur région et prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques[63]. En utilisant ces différents canaux de communication, les l'institution fournit des informations précieuses aux producteurs sur les anomalies de pluie et de végétation dans leur région et les aider à prendre des décisions éclairées en matière de gestion des risques.

IV. CONCLUSION

Le CRA se base sur l'utilisation des outils comme la E-station, SPIRITS et les logiciels libres pour produire des informations pertinentes sur la situation pastorale en vue d'aider les pouvoirs publics, les Organisations des Producteurs (OP), les Organisations Non Gouvernementales (ONG) et les Organisations Inter Gouvernementales (OIG) à prendre des décisions utiles en vue d'anticiper sur les crises. En outre, l'exploitation des séries temporelles d'images satellitaires permet de produire des analyses pertinentes pour produire des connaissances sur les grandes tendances de productions fourragères suivant les pays et les zones climatiques. Cette étude décrit l'utilisation de différentes techniques et outils, tels que le NDVI, le RFE et le DMP, pour le suivi et l'évaluation de la campagne agropastorale au Sahel et en Afrique de l'Ouest. L'approche adoptée repose sur l'utilisation de ces outils pour suivre la dynamique de la végétation, calculer les productions saisonnières de biomasse fourragère et effectuer une analyse statistique descriptive pour comparer les années de référence et suivre les variations interannuelles et intra-annuelles. Les

informations issues de ce suivi et de ces évaluations satellitaires de la situation pastorale sont diffusées aux utilisateurs par le biais de canaux et de fréquences appropriés, afin de les aider à prendre des décisions anticipées en cas de crise. L'utilisation de ces techniques et outils permet de fournir des informations précises et actualisées sur la situation agropastorale, ce qui est essentiel pour la planification et la prise de décision en matière de sécurité alimentaire et de gestion des ressources naturelles. L'analyse des images satellitaires, combinée à d'autres sources de données, permet de mieux comprendre les facteurs qui influencent la production agricole et pastorale, tels que les précipitations, la disponibilité en eau et les pratiques agricoles. Cela permet également d'identifier les zones à risque et les tendances à long terme, ce qui est essentiel pour la planification et la mise en œuvre de mesures d'adaptation et d'atténuation. L'utilisation de techniques et d'outils tels que le NDVI, le RFE et le DMP, combinée à une analyse statistique descriptive, permet de fournir des informations précises et actualisées sur la situation agropastorale au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Ces informations sont essentielles pour la planification et la prise de décision en matière de sécurité alimentaire et de gestion des ressources naturelles, et sont diffusées aux utilisateurs par le biais de canaux et de fréquences appropriés, afin de les aider à prendre des décisions anticipées en cas de crise.

RÉFÉRENCES

- [1] T. Tagesson, R. Fensholt, I. Guiro, M.O. Rasmussen, S. Huber, C. Mbow, M. Garcia, S. Horion, I. Sandholt, B. Holm-Rasmussen, F.M. Gottsche, M.E. Ridler, N. Olen, J. Lundegard Olsen, A. Ehammer, M. Madsen, F.S. Olesen, J. Ardo, Ecosystem properties of semiarid savanna grassland in West Africa and its relationship with environmental variability, *Glob Chang Biol* 21(1) (2015) 250-64.
- [2] I. Diba, M. Camara, A.B. Sarr, A. Diedhiou, Potential impacts of land cover change on the interannual variability of rainfall and surface temperature over West Africa, 9(10) (2018) art. 376 [32 p.].
- [3] C.E. Ndehedehe, N.O. Agutu, O. Okwuashi, Is terrestrial water storage a useful indicator in assessing the impacts of climate variability on crop yield in semi-arid ecosystems?, *Ecological Indicators* 88 (2018) 51-62.
- [4] J. Imanishi, Y. Morimoto, A. Imanishi, K. Sugimoto, K. Isoda, The independent detection of drought stress and leaf density using hyperspectral resolution data, *Landscape and Ecological Engineering* 3(1) (2007) 55-65.
- [5] C. Pierre, M. Grippa, E. Mougin, F. Guichard, L. Kergoat, Changes in Sahelian annual vegetation growth and phenology since 1960: A modeling approach, *Global and Planetary Change* 143 (2016) 162-174.
- [6] J. Seghieri, A. Vescovo, K. Padel, R. Soubie, M. Arjounin, N. Boulain, P. de Rosnay, S. Galle, M. Gosset, A.H. Mouctar, C. Peugeot, F. Timouk, Relationships between climate, soil moisture and phenology of the woody cover in two sites located along the West African latitudinal gradient, *Surface processes and water cycle in West Africa, studied from the AMMA-CATCH observing system* 375(1-2) (2009) 78-89.
- [7] T. Winkel, J.-F. Renno, W.A. Payne, Effect of the timing of water deficit on growth, phenology and yield of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) grown in Sahelian conditions, 48(310) (1997) 1001-1009.
- [8] J. Seghieri, C. Floret, R. Pontanier, Plant phenology in relation to water availability : herbaceous and woody species in the savannas of northern Cameroon, 11 (1995) 237-254.
- [9] T.E. Epule, J.D. Ford, S. Lwasa, L. Lepage, Climate change adaptation in the Sahel, *Environmental Science & Policy* 75 (2017) 121-137.
- [10] B. Sultan, M. Gaetani, Agriculture in West Africa in the twenty-first century : climate change and impacts scenarios, and potential for adaptation, 7 (2016) art. 1262 [20 p.].
- [11] A. Spessa, B. McBeth, C. Prentice, Relationships among fire frequency, rainfall and vegetation patterns in the wet-dry tropics of northern Australia: an analysis based on NOAA-AVHRR data, *Global Ecology and Biogeography* 14(5) (2005) 439-454.
- [12] W.P. du Plessis, Linear regression relationships between NDVI, vegetation and rainfall in Etosha National Park, Namibia, *Journal of Arid Environments* 42(4) (1999) 235-260.
- [13] C.T. Omuto, R.R. Vargas, M.S. Alim, P. Paron, Mixed-effects modelling of time series NDVI-rainfall relationship for detecting human-induced loss of vegetation cover in drylands, *Journal of Arid Environments* 74(11) (2010) 1552-1563.
- [14] P. Camberlin, N. Martiny, N. Philippon, Y. Richard, Determinants of the interannual relationships between remote sensed

- photosynthetic activity and rainfall in tropical Africa, *Remote Sensing of Environment* 106(2) (2007) 199-216.
- [15] R. Fensholt, K. Rasmussen, Analysis of trends in the Sahelian 'rain-use efficiency' using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data, *Remote Sensing of Environment* 115(2) (2011) 438-451.
- [16] A.M. Holm, S.W. Cridland, M.L. Roderick, The use of time-integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia, *Remote Sensing of Environment* 85(2) (2003) 145-158.
- [17] National Research Council (U.S.). Committee on the Earth System Science for Decisions About Human Welfare: Contributions of Remote Sensing., National Academies Press Publications, Contributions of land remote sensing for decisions about food security and human health workshop report, National Academies Press., Washington, DC, 2007, p. 1 online resource.
- [18] M.E. Brown, Satellite Remote Sensing in Agriculture and Food Security Assessment, *Agriculture and Climate Change - Adapting Crops to Increased Uncertainty (AGRI 2015)* 29 (2015) 307.
- [19] P.S. Thenkabail, ENVIOnetBASE, Remote sensing of global croplands for food security, Taylor & Francis series in remote sensing applications, CRC Press., Boca Raton, 2009, p. 1 online resource.
- [20] R.A. Holmes, R.C. Wilson, J.W. McCall, Electronic spreadsheet program for estimating two-compartment intravenous pharmacokinetic parameters by least squares linear regression analysis, *Int J Biomed Comput* 18(3-4) (1986) 203-12.
- [21] D. Chu, L. Lu, T. Zhang, Sensitivity of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to Seasonal and Interannual Climate Conditions in the Lhasa Area, Tibetan Plateau, China, Arctic, Antarctic, and Alpine Research 39(4) (2007) 635-641.
- [22] B. Holben, D. Kimes, R.S. Fraser, Directional reflectance response in AVHRR red and near-IR bands for three cover types and varying atmospheric conditions, *Remote Sensing of Environment* 19(3) (1986) 213-236.
- [23] C.O. Justice, J.R.G. Townshend, B.N. Holben, C.J. Tucker, Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data, *International Journal of Remote Sensing* 6(8) (1985) 1271-1318.
- [24] C.O. Justice, P.H.Y. Hiernaux, Monitoring the grasslands of the Sahel using NOAA AVHRR data: Niger 1983, *International Journal of Remote Sensing* 7(11) (1986) 1475-1497.
- [25] A. Huete, K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao, L.G. Ferreira, Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, *Remote Sensing of Environment* 83(1) (2002) 195-213.
- [26] D.B. Lobell, G.P. Asner, Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data, *Remote Sensing of Environment* 93(3) (2004) 412-422.
- [27] O.C.A. Ahmedou, R. Nagasawa, A.E. Osman, K. Hattori, Rainfall variability and vegetation dynamics in the Mauritanian Sahel, *Climate Research* 38(1) (2008) 75-81.
- [28] P.H.Y. Hiernaux, C.O. Justice, Suivi du développement végétal au cours de l'été 1984 dans le Sahel Malien, *International Journal of Remote Sensing* 7(11) (1986) 1515-1531.
- [29] J.T. Al-Bakri, J.C. Taylor, Application of NOAA AVHRR for monitoring vegetation conditions and biomass in Jordan, *Journal of Arid Environments* 54(3) (2003) 579-593.
- [30] L. KONATE, N.G. Bi Vami Herman, A.K. KOUAME, H.B. KOUADIO, R. MAIDMENT, Evaluation Du Niveau De Significativité Des Données Satellitaires De Pluies TAMSAT En Comparaison Aux Données De Pluies Au Sol : Cas Du District d'Abidjan (Sud De La Côte d'Ivoire), 2022 36(1) (2022) 12.
- [31] Collins Étienne Kana; Marlyse Nankap Djangue, Évaluation des données TAMSAT d'estimation des précipitations dans la partie septentrionale du Cameroun *Physio-Géo* 19 (2023).
- [32] P. Chambon., Contribution à l'estimation des précipitations tropicales : préparation aux missions Megha-Tropiques et Global Precipitation Measurement. Océan, Atmosphère., Université ParisEst, ffNNT : ff. fftel-00659418v1f, 2011.
- [33] N. Zeng, J.D. Neelin, K.-M. Lau, C.J. Tucker, Enhancement of Interdecadal Climate Variability in the Sahel by Vegetation Interaction, *Science* 286(5444) (1999) 1537-1540.
- [34] J. Fang, S. Piao, Z. Tang, C. Peng, W. Ji, Interannual Variability in Net Primary Production and Precipitation, *Science* 293(5536) (2001) 1723-1723.
- [35] D. Klein, J. Roehrig, HOW DOES VEGETATION RESPOND TO RAINFALL VARIABILITY IN A SEMI-HUMID

WEST AFRICAN IN COMPARISON TO A SEMI-ARID EAST AFRICAN ENVIRONMENT ?, 2007.

[36] X. Zhao, K. Tan, S. Zhao, J. Fang, Changing climate affects vegetation growth in the arid region of the northwestern China, *Journal of Arid Environments* 75(10) (2011) 946-952.

[37] J.L. Monteith, Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. , *Journal of Applied Ecology* 9 (1972).

[38] G. Boudet, Contribution au contrôle continu des pâturages tropicaux en Afrique occidentale, (1977).

[39] G. Boudet, Les ressources en pâturages et fourrages de la région de Boke (Rep. de Guinée-Conakry) : rapport de consultant dans le cadre de la mission Latino-Consult : études de factibilité des projets BIRD : Développement de l'élevage en Guinée (16-31 mars 1977) : ou petit précis d'agro-pastoralisme fiction à l'usage des chefs de projets de développement de l'élevage en Afrique tropicale humide, IEMVT, Maisons-Alfort, 1977, p. 38 p. multigr.

[40] I. Garba, B. Djaby, I. Salifou, A. Boureima, I. Touré, B. Tychon, Évaluation des ressources pastorale au sahel Nigérien à l'aide des données NDVI issues de SPOT-VEGETATION et MODIS. , Photo interprétation European Journal of Applied Remote Sensing, N°2015/1 (2015) 13-26.

[41] I. GARBA, Modelisation spatiale des productions fourragères dans le sahel nigérien, Eau et environnement, Univeristé de Liège, 2017, p. 130.

[42] C.C. Funk, M.E. Brown, Intra-seasonal NDVI change projections in semi-arid Africa, *Remote Sensing of Environment* 101(2) (2006) 249-256.

[43] Y. Yu, M. Notaro, F. Wang, J. Mao, X. Shi, Y. Wei, Observed positive vegetation-rainfall feedbacks in the Sahel dominated by a moisture recycling mechanism, *Nature Communications* 8(1) (2017) 1873.

[44] P. Handschumacher, O. Sall, Mobilité spatiale et gestion de l'environnement par les populations de la rive gauche du fleuve dans le contexte de l'après-barrage : de la gestion à la maîtrise de l'eau à Diomandou (périmètres MO 6 bis), in: J.-P. Hervé, J. Brengues (Eds.), Aménagements hydro-agricoles et santé (vallée du fleuve Sénégal), ORSTOM, Paris, 1998, pp. 69-86.

[45] G. Michon, M. Berriane, B. Romagny, M. Al Ifriqui, Agriculture de terroir et changement climataique dans les arrière-pays méditerranéens : les savoir locaux peuvent-ils inspirer des solutions adaptatives ?, *Le Maroc et les changements climatiques : adaptation et résilience des sociétés* 52(1, no spécial) (2017) 319-356.

[46] S. Cissé., Etude de la variabilité intra saisonnière des précipitations au Sahel : impacts sur la végétation (cas du Ferlo au Sénégal). *Climatologie.* , Université Pierre et Marie Curie - Paris VI;Université Cheikh Anta Diop (Dakar),, 2016.

[47] Y. Mounkaila, Garba, I., & Moussa, B. , Yield prediction under associated millet and cowpea crops in the Sahelian zone. , *African Journal of Agricultural Research*, (14(32),) ((2019).) 1613-1620.

[48] V. DJOUFACK-MANETSA, Étude multi-échelles des précipitations et du couvert végétal au Cameroun : Analyses spatiales, tendances temporelles, facteurs climatiques et anthropiques de variabilité du NDVI, 'Université de Bourgogne et de l'Université de Yaoundé I, 2011.

[49] T. Lebel, J.-D. Taupin, N.d. Amato, Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel : 1. General rainfall conditions and climatology, *HAPEX-Sahel* 188-189 (1997) 74-96.

[50] L. Jarlan, P. Mazzega, E. Mougin, F. Lavenue, G. Marty, P.L. Frison, P. Hiernaux, Mapping of Sahelian vegetation parameters from ERS scatterometer data with an evolution strategies algorithm, *Remote Sensing of Environment* 87(1) (2003) 72-84.

[51] V. Retzer, Impacts of grazing and rainfall variability on the dynamics of a Sahelian rangeland revisited ()—new insights from old data, *Journal of Arid Environments* 67(1) (2006) 157-164.

[52] A.M. Abdi, N. Boke-Olen, D.E. Tenenbaum, T. Tagesson, B. Cappelaere, J. Ardo, Evaluating water controls on vegetation growth in the semi-arid Sahel using field and earth observation data, 9(3) (2017) art. 294 [20 p.].

[53] T. Fowe, J.-E. Paturol, H. Karambiri, H. Yacouba, p. Diello, G. Mahé, Impacts des changements globaux sur les ressources en eau dans la zone sahélienne en Afrique de l'Ouest, in: E. Boegh, E. Blyth, D.M. Hannah, H. Hisdal, H. Kunstmann, B. Su, K.K. Yilmaz (Eds.), *Climate and land surface changes in hydrology : proceedings of H01, IAHS-IAPSO-IASPEI assembly, AISH, Wallingford*, 2013, pp. 99-104.

[54] C. Velluet, Modélisation et analyse pluriannuelles du fonctionnement hydrologique et énergétique de deux écosystèmes

dominants au Sahel agropastoral (Sud-Ouest Niger), Université de Montpellier 2 : Montpellier, UM2, Montpellier, 2014, p. 286 p. multigr.

[55] C. Alexandre, Estimation de la biomasse fourragère des prairies : apports du couplage entre modèles dynamiques de croissance et imagerie satellitaire : exemple de La Réunion et du Kalahari., Géographie. Université de la Réunion., 2017.

[56] D. Agonyissa, B. Sinsin, Productivité et capacité de charge des pâturages naturels au Bénin, Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux 51 (1998) 239-246.

[57] G. Boudet, Problèmes posés par l'estimation de la capacité de charge d'un pâturage naturel tropical, Inventaire et Cartographie des Pâturages Tropicaux Africains, CIPEA-ILCA, Addis Abeba, 1975, pp. 265-267.

[58] A. Fall, Du Ferlo au Bassin arachidier (Sénégal) : analyse de la composition floristique de la végétation envisagée comme ressource et comme indicatrice des changements socio-environnementaux. , Physio-Géo. (2017).

[59] S.B.B. Djohy G L, Idrissou Y, Saliou R, Boni Y et Natta A Productivité des pâturages naturels dans le bassin de l'Ouémé Supérieur au Bénin dans un contexte de changements climatiques. , Livestock Research for Rural Development. Volume 34, Article #75. (2022).

[60] C.S. Faye, Cheikh Abdou Aziz Sy., Advances in Natural and Technological Hazards Research Geohazards and Disaster Risk Reduction., (2023).

[61] S.e.a.C. SALACK, Prévisibilité des faux-départs de saison agricole au Sahel In: Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest in: Marseille: IRD Éditions (Ed.), Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest. New edition 2020 pp. p. 31-43.

[62] T.b.M. Bouda Maja Chardi Moussa, Oumarou diadie Halima et Balla Abdourahamane, Risques climatiques et sécurité alimentaire et nutritionnelle au Niger : cartographie des impacts et des besoins de résilience, VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement (2022).

[63] C. Dondeyne, Les technologies numériques de l'information et de la communication au service d'une agriculture durable ?, Terminal (2010).