



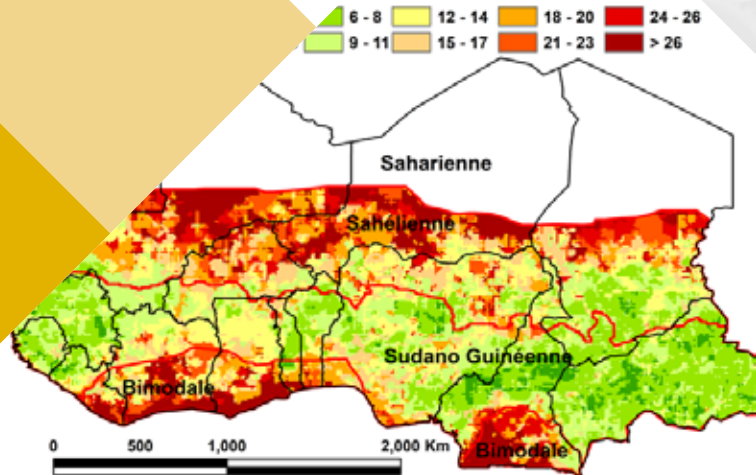
COMITÉ PERMANENT INTER-ÉTATS DE LUTTE
CONTRE LA SÉCHERESSE DANS LE SAHEL

PERMANENT INTERSTATE COMMITTEE FOR
DROUGHT CONTROL IN THE SAHEL

COMITÉ PERMANENTE INTER-ESTADOS
DE LUTA CONTRA A SECA NO SAHEL

اللجنة الدائمة المشتركة لمحاربة التصحر في الساحل

Acquis du CILSS
dans **LE DOMAINE
DU CLIMAT** : 50
ans d'observation
du climat et de
ses impacts



*50 ans d'engagement au service des populations
sahéliennes et ouest-africaines*

**ACQUIS DU CILSS DANS LE DOMAINE
DU CLIMAT : 50 ANS D'OBSERVATION
DU CLIMAT ET DE SES IMPACTS**

TABLE DES MATIÈRES

1. BASCULEMENT CLIMATIQUE AU SAHEL : 50 ANS APRÈS, UN REGARD RÉTROSPECTIF SUR CE PHÉNOMÈNE SANS PRÉCÉDENT	5
1.1. Basculement climatique du Sahel au début des années 70 et choc des images	5
1.2. Facteurs prépondérants à la base du basculement climatique	7
2. DISPOSITIF DE VEILLE CLIMATIQUE RÉGIONALE : 50 ANS D'INNOVATIONS CONTINUES	11
2.1. Cinquante ans de concentration régionale des données d'observation sur le climat	11
2.2. Dispositif de veille climatique régionale	15
3. PRODUCTION DES CONNAISSANCES SUR LES PROFILS CLIMATIQUES ACTUELS ET FUTURS	21
3.1. Évolution passée et actuelle du climat au Sahel et en Afrique de l'Ouest	21
3.2. Scénarios prospectifs pour le futur	23
4. IMPACTS CLIMATIQUES SUR LES SECTEURS VITAUX DE LA RÉGION	25
4.1. Impact sur les ressources en eau	25
4.2. Impact sur l'agriculture	28
4.3. Impact sur l'élevage	31
5. ÉVOLUTION INSTITUTIONNELLE	32

1. BASCULEMENT CLIMATIQUE AU SAHEL : 50 ANS APRÈS, UN REGARD RÉTROSPECTIF SUR CE PHÉNOMÈNE SANS PRÉCÉDENT



Des années 1970 à la fin du XX^e siècle, la région du Sahel a souffert d'une sécheresse dont la durée et l'intensité restent inégalées. Cette sécheresse a été particulièrement marquée entre 1970 et 1990, avec une baisse de la quantité de pluie annuelle de 200 mm en moyenne, soit un déficit de 50 à 60% dans la

partie septentrionale du Sahel.

L'insécurité alimentaire qui en a résulté s'est traduite par des famines désastreuses, des déplacements massifs de populations vers les régions plus humides au Sud (Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin, etc.) et les grandes villes.

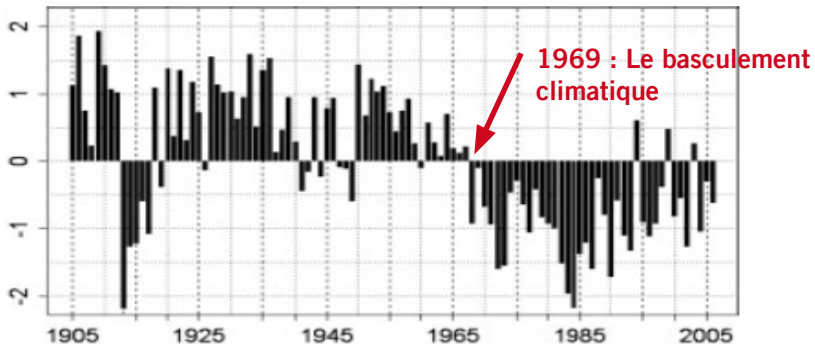


1.1 Basculement climatique du Sahel au début des années 70 et choc des images

Les enregistrements de la pluviométrie effectués depuis les temps de la colonisation montrent que le Sahel a connu une succession de saisons pluvieuses jusqu'à la fin des années 60. Soudain, dès l'aube des années 70, apparaissait une persistance d'années sèches au

Sahel. La région venait de basculer dans une ère climatique marquée par de forts déficits pluviométriques (figure 1). Oui, le Sahel - du Sénégal à l'Éthiopie - venait d'entamer l'une des périodes de sécheresse les plus longues de mémoire d'homme.

Figure 1 : L'indice des pluies illustrant le basculement du Sahel d'un climat marqué par des cumuls de pluie excédentaires à une phase de pluie déficitaire



Les quantités des pluies enregistrées étaient insuffisantes pour satisfaire les besoins des différents secteurs, en particulier l'agriculture et l'élevage. Ces déficits pluviométriques (sécheresse) se sont accompagnés de catastrophiques famines, immortalisées par des images presque insoutenables.

En effet, le monde entier se «réveillait» sous le choc brutal d'images d'enfants affamés, de femmes et d'hommes sque-

lettiques, d'animaux décimés, d'arbres asséchés venant du Sahel (figure 2).

Cette situation créa un véritable élan de solidarité mondiale envers le Sahel. L'aide affluait de partout. Aux niveaux national et régional, beaucoup d'initiatives ont été prises. L'une des plus significatives était la création du Comité Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel.

Figure 2 : Images chocs de l'impact désastreux des sécheresses des années 70-80

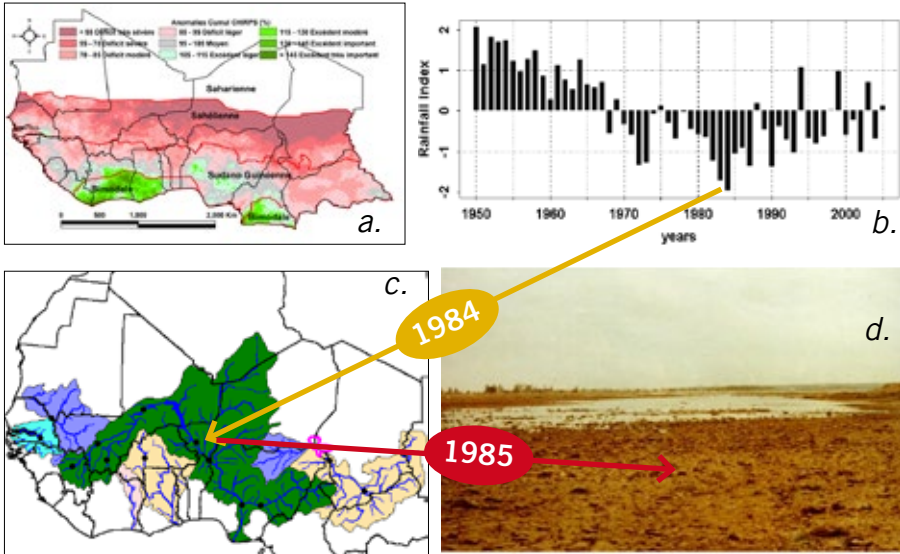


Déficit pluviométrique : 1984, l'année du paroxysme

L'année 1984 a été l'année du paroxysme de la sécheresse, une année de sécheresse cataclysmique. Du Sénégal au Tchad, aucun pays sahélien n'a été épargné (figure 3). La pluviométrie a globalement baissé de plus de 70%. Le fleuve Niger, le plus grand fleuve

d'Afrique de l'Ouest, a cessé de couler en 1985, du fait de l'impact de la sécheresse de 1984. Le fleuve se traversait à pied au niveau de sa section du point Kennedy. C'était la première fois, de mémoire d'homme, qu'un tel événement arriva.

Figures 3 : 1984 a connu la plus grande sécheresse de l'histoire du 20^e siècle avec l'arrêt de l'écoulement du fleuve Niger en 1985 : (a) Carte de déficit pluviométrique en pourcentage de 1984 par rapport à la moyenne 1981-2010 ; (b) Indice de la variabilité interannuelle du cumul saisonnier au Sahel (montrant la singularité de 1984) ; (c) Bassin du fleuve Niger ; (d) Arrêt de l'écoulement du fleuve Niger à Niamey en 1984.



Comme on le voit sur la carte de la figure 3a, avec la sécheresse de 1984, en dehors du Golfe de Guinée, i.e. le Sud de la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo et quelques endroits du Nigéria, tout l'espace CILSS-CEDEAO a été durement éprouvé. L'insécurité alimentaire qui en a résulté a provoqué un mouvement de masse des populations (cultivateurs et éleveurs) des pays sahéliens vers les régions côtières du Sud.



1.2 Facteurs prépondérants à la base du basculement climatique au Sahel

Pourquoi la saison des pluies s'était-elle si dramatiquement affaiblie pendant plus de trente ans, avec une chute de 30 à 70% de la pluviométrie sur la zone sahélienne ? Quelles sont les conclusions scientifiques autour de ce phéno-

mène ? La singularité de la sécheresse au Sahel a donné lieu à un engouement international de la communauté scientifique où plusieurs recherches ont été menées pour décrypter les éléments moteurs ayant conduit à cette situation.

La sécheresse des décennies 1980 & 1990 au Sahel a été le principal signal climatique planétaire du XX^e siècle

Rappelons que la saison des pluies au Sahel vient de la mousson ouest-africaine qui est à la fois contrôlée par le climat mondial, les évolutions cycliques océaniques et impactée par les activités humaines qui détruisent les équilibres préexistants. Quels sont les facteurs prépondérants qui étaient à la base de cette longue période de sécheresse ?

Est-ce l'effet d'une déforestation accélérée ?

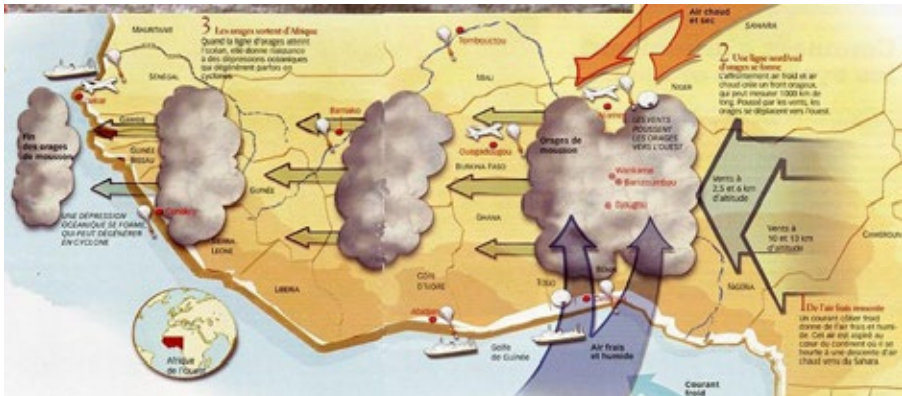
Les premières analyses sur les causes de l'affaiblissement de la mousson au Sahel ont pointé du doigt la déforestation intensive. Il n'y a pas eu pas de démonstration scientifique rigoureuse de cette hypothèse, mais la question est motivée car, depuis l'antiquité, certains affirmaient que déboiser entraînait une raréfaction de la pluie. Les arbres étaient anéantis, la savane a fait place au désert, or il ne pleut pas dans le

désert. C'est donc légitime de penser qu'avec la destruction des arbres, il pleut beaucoup moins. Seulement, c'est le problème de l'œuf et de la poule : entre la raréfaction des pluies et la disparation des arbres qui précède l'autre ?

Quel rôle exact joue l'océan ?

La pluie vient de la mousson, qui elle-même vient de l'océan. Lorsque les surfaces continentales (de la savane au Sahara) se réchauffent, en été, elles attirent l'air chargé en humidité au-dessus du Golfe de Guinée. Ce flux d'air humide remonte vers le Nord et, une fois au-dessus du continent, se transforme en systèmes orageux nommés lignes de grain (du fait de leur structure frontale linéaire). Ces systèmes se déplacent d'Est en Ouest, arrosant toute la région avant d'arriver sur l'Atlantique, où ils se transforment parfois en cyclones (figure 4).

Figure 4 : Flux de mousson ouest-africaine



De prime abord, soulignons que les modèles climatiques et les analyses statistiques montrent qu'il y a un fort lien entre El Nino (La Nina) et les précipitations au Sahel. Pour rappel, El Nino est un phénomène météorologique cyclique, qui se manifeste par l'apparition d'eaux chaudes sur la côte sud-est du Pacifique qui augmentent les pluies sur cette région, mais défavorables aux précipitations au Sahel. À l'inverse, La Nina (refroidissement dans le Pacifique) tend à assécher la région du Pacifique, mais favorable à de bonnes précipitations au Sahel.

De même, l'océan Atlantique joue un rôle important sur la saison des pluies au Sahel et en Afrique de l'Ouest. Le diplôme Atlantique (différence de température entre l'Atlantique Nord et l'Atlantique Sud) est l'un des moteurs les plus puissants du déroulement de la saison des pluies. En effet, l'eau libérée par les pluies ouest-africaines provient de l'intense évaporation qui affecte le Golfe de Guinée. Plus, le Golfe de Guinée est froid, plus les surfaces continentales sont chaudes, plus la mousson est

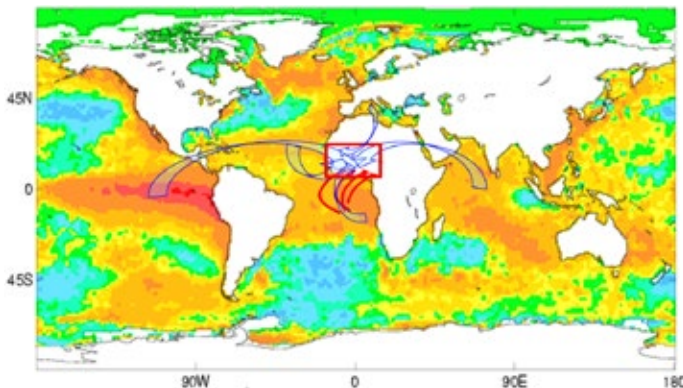
forte. L'upwelling, autrement dit l'arrivée en surface d'eaux froides issues des profondeurs de l'océan, abaisse les températures de surface, parfois de plus de 3°C, creusant ainsi un écart thermique entre un continent surchauffé et un océan relativement frais.

L'océan indien joue également un rôle important dans la dynamique pluviométrique au Sahel. Par exemple, la sécheresse de 1983 a été en grande partie causée par un réchauffement anormalement élevé des températures de surface de l'océan indien.

De même, la température de l'océan méditerranéen joue aussi un rôle important sur les précipitations au Sahel. Quand les températures de la Méditerranée sont chaudes, elles créent des conditions favorables à des saisons plus pluvieuses au Sahel.

In fine, la situation de la pluviométrie au Sahel s'explique par la conjugaison et l'interaction de l'ensemble des différents bassins océaniques, amplifiée par certains facteurs des surfaces continentales et atmosphériques (figure 5).

Figure 5 : Zones d'influence océaniques sur la saison des pluies en Afrique de l'Ouest (bassins régionaux et téléconnections)



La clé de l'affaiblissement des saisons des pluies au Sahel se trouve dans les conditions océaniques. La conjugaison d'un Pacifique équatorial chaud (El Nino), d'un Atlantique froid dans sa partie Nord et chaud dans sa partie Sud, d'un océan indien chaud surtout dans

sa partie Nord, un océan méditerranéen moins chaud que la moyenne est plutôt favorable à une forte diminution de la pluviométrie au Sahel. Au fil des années, différentes situations de ces bassins océaniques se sont combinées pour déterminer la pluviométrie au Sahel.

En conclusion, différents résultats de la recherche ont montré que des changements majeurs intervenus au niveau des températures de surface océaniques expliquent largement la sécheresse au Sahel.

Mais, il convient de souligner que l'activité anthropique, à travers le déboisement, n'est pas totalement dédouanée. Les conditions des états de surface jouent un rôle secondaire, un rôle d'amplificateur à travers des mécanismes qu'on appelle la rétroaction (positive ou négative).

Peut-on lier cette situation au réchauffement climatique global ?

Une question majeure est de savoir si les changements des conditions des surfaces océaniques à la base de la sécheresse au Sahel peuvent être imputés au changement climatique. En d'autres termes, est-ce que les changements des températures des surfaces des océans ayant entraîné la baisse de la pluviométrie au Sahel sont imputables au réchauffement global lié aux émissions des gaz à effet de serre, du fait des activités anthropiques ? Plusieurs recherches ont effectivement

montré que les émissions de gaz à effet de serre et des aérosols anthropiques, notamment les émissions en Amérique du Nord (Rotstayn, L.D. and Lohmann, U., 2002. Tropical rainfall trends and the indirect aerosol effect. *Journal of Climate*, 15, pp.2103-2116; Biasutti, M. and Giannini, A., 2006. Robust Sahel drying in response to late 20th century forcings. *Geophysical Research Letters*, 33(11); Giannini, A. and Kaplan, A., 2019. The role of aerosols and greenhouse gases in Sahel drought and recovery. *Climatic Change*, 152(3-4), pp.449-466; Marvel, K., Biasutti, M. and Bonfils, C., 2020. Fingerprints of external forcings on Sahel rainfall: aerosols, greenhouse gases, and model-observation discrepancies. *Environmental Research Letters*, 15(8), 084023), ont eu un effet de refroidissement dans l'Atlantique Nord, donc défavorable aux précipitations au Sahel.

2. DISPOSITIF DE VEILLE CLIMATIQUE RÉGIONALE : 50 ANS D'INNOVATIONS CONTINUES



En accédant aux indépendances dans les années 1960, les jeunes États sahéliens faisaient face à des défis multi-formes et la priorité n'était certainement pas donnée à l'investissement dans les réseaux d'observation climatique et hydrologique. En effet, l'utilité de ces réseaux d'observation n'étant tangible qu'au bout d'un certain temps, ils n'attirent pas en priorité les investissements qui favorisent le plus souvent les bénéfices rapides.

Toutefois, le choc climatique des années 1970, ayant pris de court les États du Sahel, induisit une forte prise de conscience sur la nécessité d'une surveillance rapprochée du climat et ses impacts. C'était dans ce cadre que des initiatives interétatiques,

comme la création du CILSS avec le Centre Régional AGRHYMET comme centre spécialisé sur les applications agro-hydro-météorologiques, étaient intervenues. Ainsi, le CILSS, à travers AGRHYMET, a mis en place un dispositif régional de veille climatique. Ce dispositif est basé à la fois sur un système régional de collecte et de concentration des données, mais aussi sur un mécanisme opérationnel de production et de diffusion d'informations à travers des briefings réguliers et des cadres de concertation régional, national et local.

Ce dispositif s'est continuellement amélioré au gré des innovations technologiques, et des évolutions des méthodes et des résultats scientifiques.



2.1. Cinquante ans de concentration régionale des données d'observation sur le climat

La base des données régionale sur le climat d'AGRHYMET constitue un patrimoine unique dans la région

L'argent, c'est le nerf de la guerre, a-t-on coutume de dire ; mais, le nerf de la science et de la connaissance, ce sont les données !

Dans le cadre de la production opérationnelle des informations d'aide à la

prise de décision pour anticiper les événements climatiques et renforcer la prévention, l'une des missions fondamentales du Centre Régional AGRHYMET est de servir un hub régional de données. C'est ainsi que, depuis 50

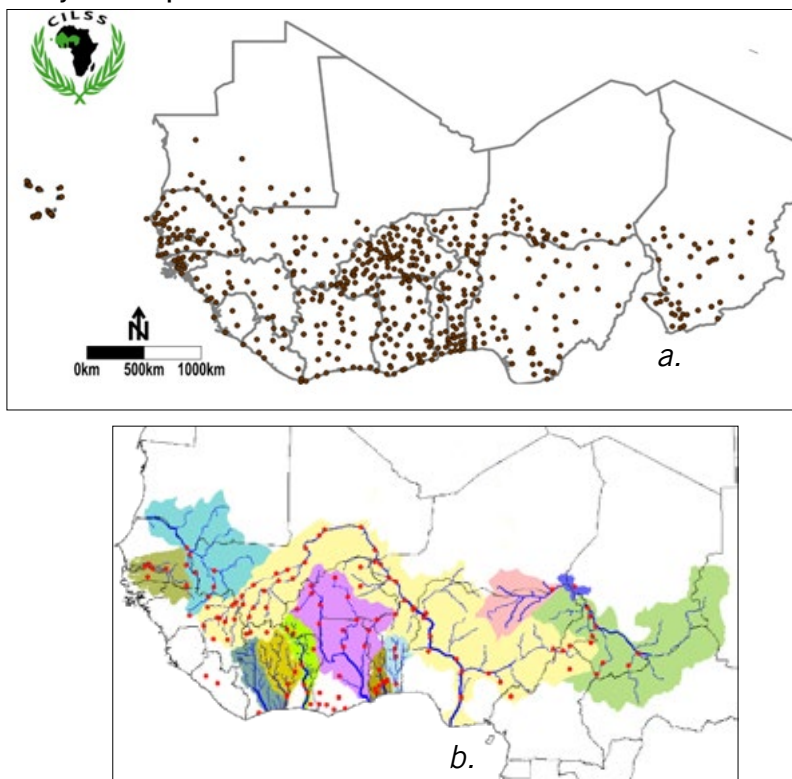
ans, AGRHYMET s'est investi dans la collecte, la concentration et la gestion des données de différentes natures. Ces données portent sur les réseaux d'observation météorologique et hydrologique, les données d'observation satellitaire, les statistiques agricoles et les données d'enquêtes in situ.

La présente section fait le point de 50 ans de collecte des données des réseaux météorologiques et hydrologiques dans les 17 pays de l'espace CILSS/CEDEAO. En effet, le Centre Régional AGRHYMET, de par sa mission de suivi régional des risques climatiques,

entretient des échanges continus de données climatiques avec les Services Nationaux de Météorologie et d'Hydrologie de ses États membres (SNMHs). Ces données, de par la longueur des séries temporelles et leur couverture géographique régionale, sont significatives pour conduire les analyses nécessaires sur les risques climatiques dans notre région.

La base des données régionale d'AGRHYMET contient plus de 1900 stations pluviométriques et une centaine de stations de relevés de température (figure 6).

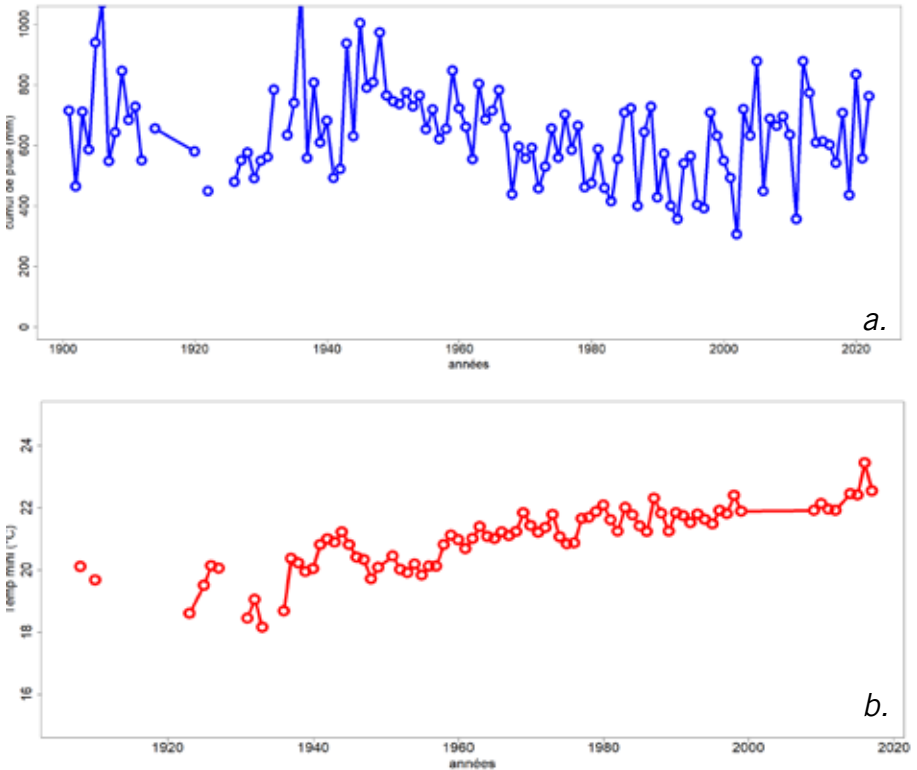
Figure 6 : Répartition spatiale du réseau d'observation des pluviomètres (a.) et des stations hydrométriques (b.)



Du point de vue temporel, les données de certaines stations pluviométriques et de température remontent aux années 1900, ce qui fait aujourd'hui plus de 120 ans de série temporelle pour ces stations. De telles séries historiques permettent une analyse approfondie de l'évolution du climat au Sahel. Ainsi, grâce à ces observations en continu sur

le climat, les pays de l'espace CILSS/ CEDEAO disposent aujourd'hui des données nécessaires pour identifier les tendances climatiques significatives dans la région et détecter les effets de différents facteurs de forçage climatique (tendance mondiale au réchauffement ; variabilité décennale d'origine océanique, variabilité interannuelle).

Figure 7 : Observations centennales (120 ans) issues de la base des données d'AGRHYMET : (a) pluviométrie (Kayes au Mali) et (b) températures minimales (Bobo-Dioulasso au Burkina Faso)



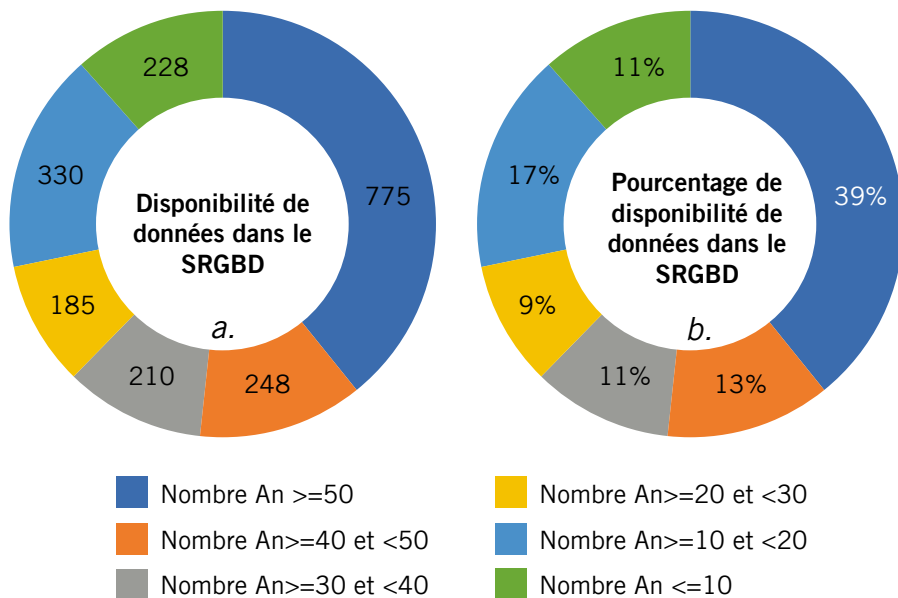
Depuis sa création, AGRHYMET accompagne les pays dans la gestion des données hydroclimatiques en mettant à leur disposition des logiciels unifiés,

comme SUIVI, CLIMBASE, CLICOM, HYDROM et, plus récemment, CLIDATA et CLIMSOFT pour les données climatiques et HYDROMET pour les données

hydrologiques. Ainsi, la stratégie utilisée en matière de gestion des données est de promouvoir l'utilisation des mêmes logiciels au niveau de l'ensemble des SNMHs des 17 pays du CILSS/CEDEAO. Cette stratégie permet de

faciliter l'assistance technique d'AGRHYMET aux SNMHs. Ces logiciels de gestion des données sont intégrés dans un Système Régional de Gestion des Bases des Données (SRGBD) mis en place par AGRHYMET.

Figure 8 : Répartition du nombre (a) et du pourcentage (b) de stations pluviométriques en fonction du nombre d'années des données disponibles



Défis majeurs dans la collecte et la gestion des données climatiques

Malgré des acquis indéniables, des défis majeurs et structurels persistent dans la collecte et la gestion des données climatiques. En effet, le Sahel et l'Afrique de l'Ouest sont connus pour être une région

où, de manière générale, les données des réseaux d'observations météorologique sont insuffisantes en quantité et en qualité et où les conditions d'accès à ces données ne sont pas faciles.

La densité des stations météorologiques de la région est en moyenne sept à huit fois plus faible que le minimum recommandé par l'Organisation Météorologique Mondiale

Les principaux problèmes rencontrés se présentent comme suit : dégradation des réseaux de mesure, qualité insuffisante de certaines données due souvent à une mauvaise installation des stations, existence des trous dans les séries des données de certaines stations, budgets restreints pour les

services météorologiques, dispersion des efforts de collecte des données par plusieurs structures dans un même pays, insuffisance de professionnels qualifiés, faible niveau de valorisation des données et difficulté d'accès à ces données.



2.2 Dispositif de veille climatique régionale

L'organisation du dispositif de veille climatique régionale mis en place par le CILSS, à travers le Centre Régional AGRHYMET, est schématisée à la figure 9. Elle comprend un système de collecte des données d'observation sur le terrain (données des réseaux d'observation météorologique et hydrologique,

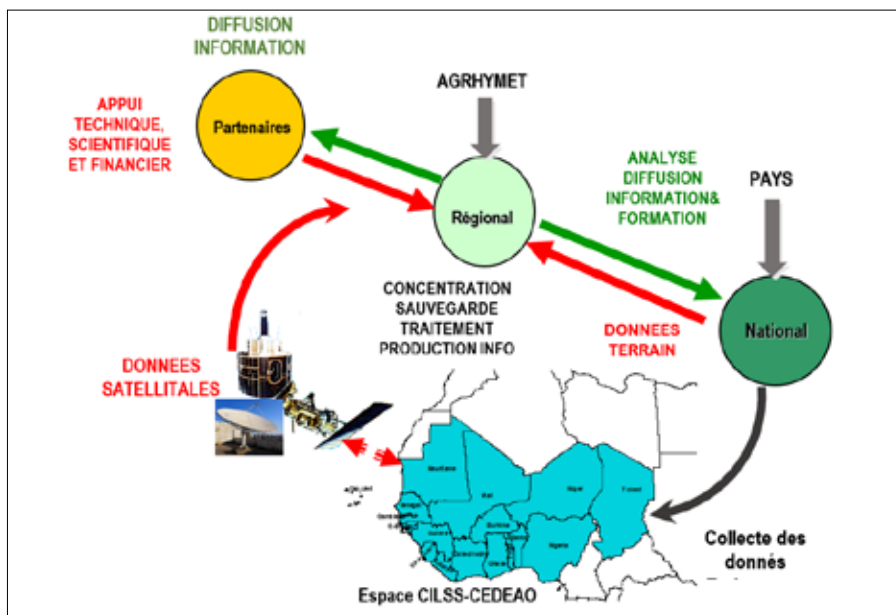
d'enquête in situ), un système de réception des données satellitaires (MÉTÉOSAT, NOAA, RARS), un système de traitement, d'analyse, de production et de diffusion des informations ainsi que la coopération scientifique et technique avec les partenaires.

Aujourd'hui, il est difficile que la région soit surprise par un phénomène climatique d'ampleur comparable à celle de la sécheresse des années 1970

La collecte des données se fait de manière opérationnelle auprès des Services Nationaux de Météorologie et d'Hydrologie (SNMHs) des 17 pays de l'espace CILSS/CEDEAO. Le plus souvent, ces données sont centralisées par email, puis traitées et analysées. Elles sont combinées aux données satellitaires

et à celles issues des modèles des centres internationaux pour analyser la situation climatique en cours et à venir. Ces analyses sont effectuées à travers des briefings décennaires des experts au cours desquels la situation climatique et les impacts associés sont scrutés et, en cas de nécessité, une alerte est émise.

Figure 9 : Le dispositif opérationnel de collecte des données et de diffusion de l'information



Prévisions saisonnières des caractéristiques agro-hydro-climatiques de la saison des pluies

Un segment clé du dispositif de surveillance climatique est l'élaboration et la diffusion des prévisions climatiques à différentes échelles : saisonnière, intra-saisonnière et court terme.

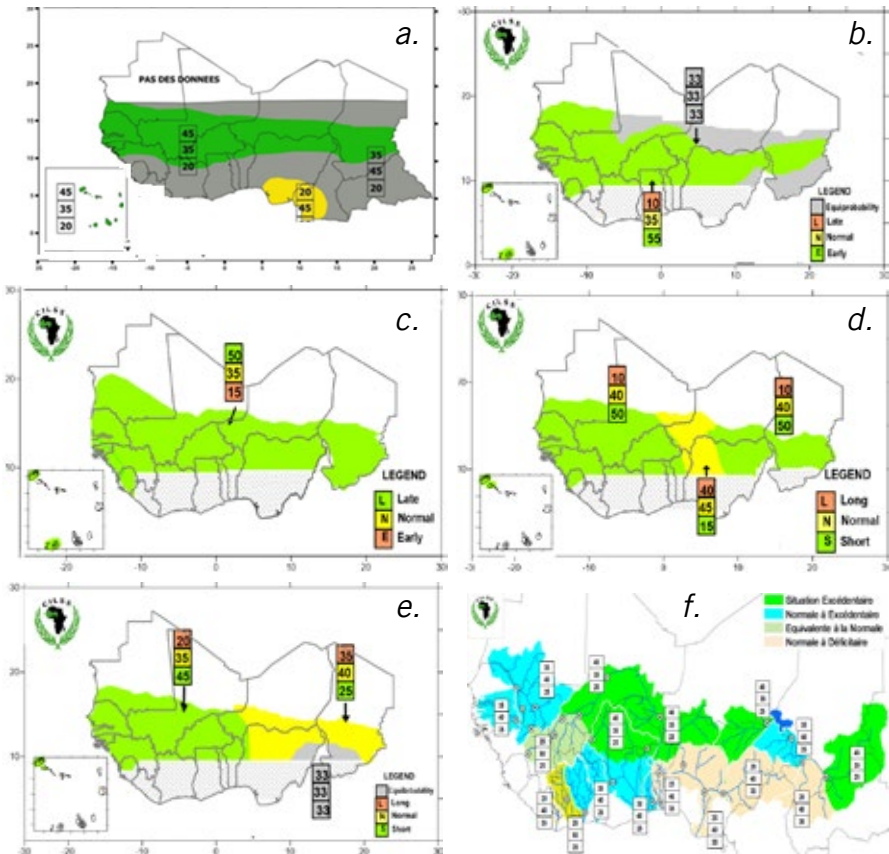
Depuis la création des fora saisonniers sur les perspectives climatiques en Afrique de l'Ouest (PRESAO) en 1998, le Centre Régional AGRHYMET a été un membre actif du consortium composé par le Centre africain pour les applications météorologiques au développement (ACMAD) et l'Autorité du Bassin du fleuve Niger (ABN). Le résultat de ces fora consistait à délivrer en début de chaque saison (généralement en fin avril ou au début du mois de mai), les

prévisions des cumuls pluviométriques pour la période Juillet-Août-Septembre (JAS) et des débits maxima dans les principaux bassins fluviaux en Afrique de l'Ouest, au Cameroun et au Tchad. Par la suite, à partir de 2012, le Centre Régional AGRHYMET a introduit la prévision d'autres caractéristiques de la saison des pluies qui sont jugées plus pertinentes pour l'agriculture pluviale, à savoir les dates de début et de fin de la saison, de même que la durée des séquences sèches pendant les phases critiques de la croissance des cultures céréalières. En outre, le processus a été élargi aux zones à pluviométrie bimodale des pays du Golfe de Guinée. Actuellement, les fora des prévisions

saisonniers sont organisés deux fois par an : en fin février pour les zones à régime pluviométrique bimodal des pays du Golfe de Guinée (PRESAGG) et en fin avril pour les zones soudanaises et sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest et du Sahel (PRESASS) (figure 10). Ces fora PRESAGG et PRESASS impliquent la participation des experts d'AGRHYMET, de l'ACMAD, des Services Météorologiques et Hydrologiques Nationaux

(SMHNs), des organismes des bassins fluviaux de la région, ainsi que ceux des institutions internationales (OMM, IRI, Météo-France, UK met-Office et autres). Ils constituent à la fois des occasions de renforcement des capacités et d'échanges entre les experts sur les dernières avancées scientifiques dans le domaine de la prévision climatique à longue échéance.

Figure 10 : Prédiction des caractéristiques agro-hydro-climatiques (PRESASS), exemple des prévisions de la saison des pluies 2022 : (a) Prévisions des cumuls des pluies, (b) Début de la saison, (c) Fin de la saison, (d) Séquences sèches en début de saison, (e) Séquences sèches en fin de saison, (f) Écoulements dans les principaux bassins fluviaux



À l'issue de ces fora, des avis et conseils sont fournis aux différents utilisateurs et décideurs des prévisions pour une meilleure gestion de la saison des pluies. Ces avis et conseils concernent :

- le choix des variétés des céréales pluviales plus adaptées à la situation pluviométrique prévue ;
- le choix des terres (hautes, basses, etc.) plus favorables au profil de la saison des pluies ;
- la préparation aux risques de sécheresses ou d'inondations selon le profil de la saison des pluies ;
- les investissements à consentir pour mieux tirer profit d'une saison des pluies potentiellement favorable aux activités socioéconomiques.

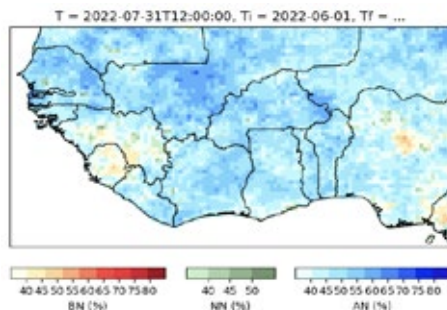
Vers une nouvelle génération des prévisions saisonnières en Afrique de l'Ouest

Les prévisions actuelles du PRESASS et du PRESAGG sont des prévisions consensuelles, qualitatives (probabilistes) dont le format de communication se présente en trois catégories

seulement : équivalente à la normale, supérieure à la normale ou inférieure à la normale. Ces prévisions saisonnières comportent certaines limites qu'il convient de corriger. En effet, ces prévisions consensuelles sont issues de l'analyse qualitative des différentes prévisions fournies par les centres mondiaux, des conditions des températures des surfaces océaniques et du jugement des experts climatologues de la région. Une fois élaborées lors des fora, ces prévisions sont difficiles à reproduire par la suite. De plus, les utilisateurs souhaitent avoir des informations plus localisées et plus précises que celles actuellement fournies par le PRESASS et le PRESAGG.

Pour trouver une solution à ces lacunes, AGRHYMET a démarré l'opérationnalisation d'un nouveau produit de prévisions saisonnières, appelé prévisions saisonnières objectives (figure 11). Ces prévisions saisonnières sont issues de la combinaison automatique de plusieurs modèles climatiques. Elles comportent plusieurs niveaux d'information ; elles sont reproductibles et aisément vérifiables. Ces prévisions sont appelées à remplacer les prévisions actuellement élaborées.

Figure 11 : Exemple de prévisions saisonnières objectives



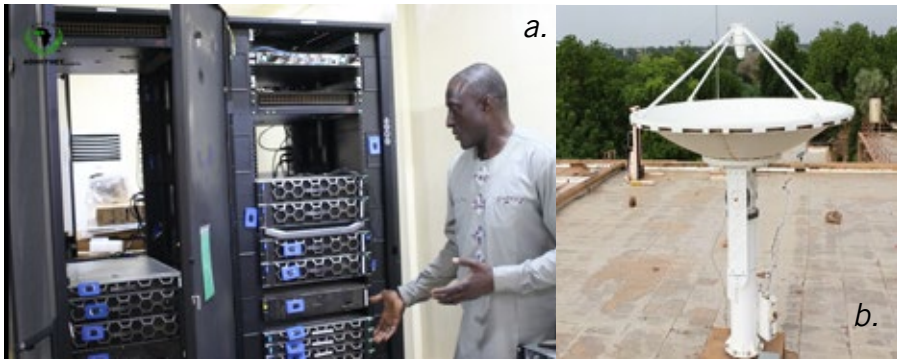
Acquisition de nouveaux moyens de calcul informatique et développement des prévisions numériques de temps

Le Centre Régional AGRHYMET a acquis en 2021 de nouveaux moyens de calcul de haute performance appelés HPC (High Performance Computing) permettant à AGRHYMET de tourner en son sein des modèles météorologiques et de produire des prévisions numériques de temps, au lieu d'utiliser uniquement les prévisions faites par les centres mondiaux de climat. Le HPC (figure 12a) dispose des caractéristiques ci-après : 2 nœuds de tête, 2 nœuds de login, 4 nœuds de stockage, 1 nœud de monitoring, 16 nœuds de calcul, 5 TB de Mémoire, 1 544 cœurs dont 1 280 cœurs sur les nœuds de calcul (avec

hyperthreading), 50 TFlops de puissance de calcul, 460 TB de stockage haute performance Lustre, Connectivité InfiniBand (100 Gbits/second).

Dans la même année, il a été installé à AGRHYMET une antenne de réception RARS (Regional Advanced Retransmission System) lui permettant de recevoir, en temps réel, les données des satellites défilants, en plus de celles des satellites géostationnaires qu'il reçoit déjà grâce au système PUMA. Dans toute l'Afrique, il existe seulement quatre (4) antennes RARS (figure 12b) de ce type : 1 au Gabon, 1 en Afrique du Sud, 1 au Niger (AGRHYMET) et 1 au Kenya.

Figure 12 : Image du HPC d'AGRHYMET (a) et de l'Antenne RARS (b)



Cette grande puissance de calcul dont dispose AGRHYMET a permis de mettre en œuvre le modèle de prévision météorologique WRF (Weather Research and Forecasting) qui est un système de prévision numérique du temps à méso-échelle de nouvelle génération, conçu pour répondre à la fois aux besoins de recherche atmosphérique et de prévision opérationnelle. Le modèle sert un large éventail d'applications météorologiques à des échelles allant de dizaines de mètres à de milliers de kilomètres. La Division de Météorologie Méso-échelle et Micro-échelle (MMM) du NCAR (**National Center for Atmospheric Research, US**) maintient le

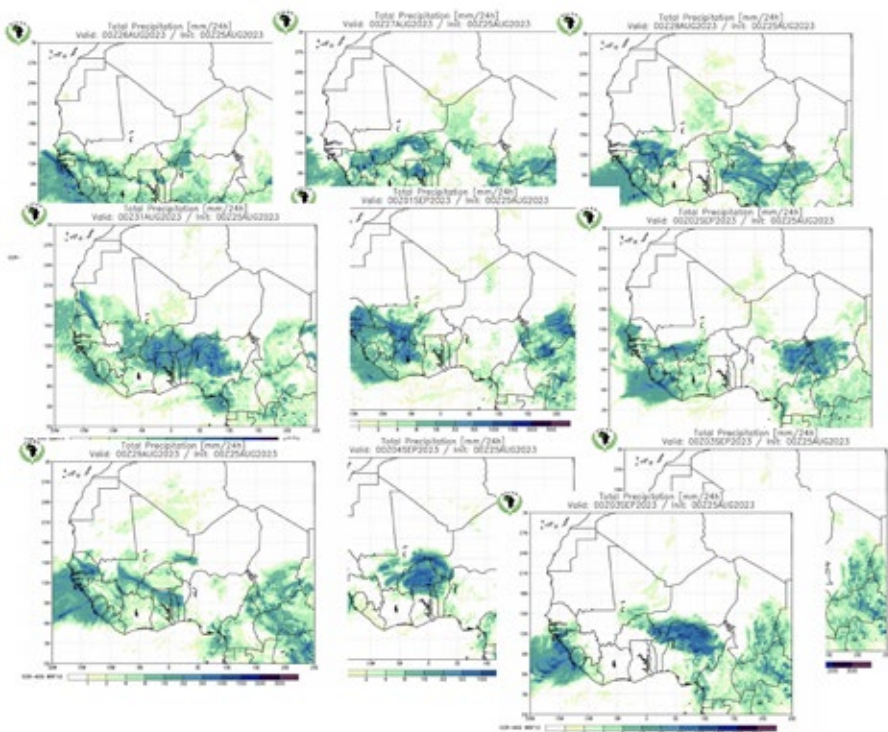
code WRF pour une large communauté d'utilisateurs.

Les prévisions numériques de temps (figure 13) développées par AGRHYMET, à partir du HPC et du modèle WRF, sont encore expérimentales et disponibles au lien ci-après :

<http://154.127.90.199/model/wr-f12gfs.06z.html>

Il s'agit de prévisions numériques de temps (pluie, température, vent, etc.) élaborées sur un horizon temporel de 10 jours. À terme, l'utilisation des données de l'antenne RARS permet d'améliorer ces prévisions.

Figure 13 : Prévisions des pluies élaborées à partir du HPC d'AGRHYMET et du modèle météorologique WRF pour les 10 prochains jours pour l'espace CILSS-CEDEAO



3. PRODUCTION DES CONNAISSANCES SUR LES PROFILS CLIMATIQUES ACTUELS ET FUTURS



*Une mise à jour continue des connaissances afin d'améliorer
la prise de décision pour une meilleure gestion des risques
et opportunités climatiques*



3.1. Évolution passée et actuelle du climat au Sahel et en Afrique de l'Ouest

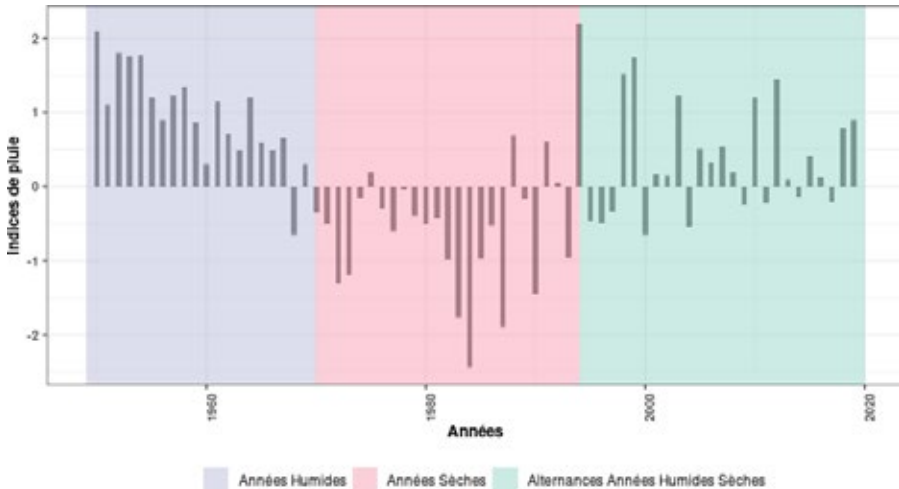
Sept décennies d'évolution contrastée du climat au Sahel

Malgré leur faible densité, les réseaux d'observation ont permis de documenter, depuis plus de 50 ans, les trajectoires climatiques et hydrologiques au Sahel et en Afrique de l'Ouest pour orienter les actions d'adaptation.

L'évolution historique du climat au Sahel, caractérisée par une période humide, suivie d'une période de sécheresse persistante, est bien connue. La comparaison entre la période humide et la période sèche montre que les années sèches ont été caractérisées par une diminution importante des pluies au cœur de la saison des pluies (mois d'août), un démarrage tardif, une fin précoce. Les isohyètes ont migré de 200 km vers le Sud.

La période de grande sécheresse a persisté jusqu'en 1993. À partir de 1994, un autre régime de variabilité s'est installé, avec une plus forte alternance entre les années humides et les années sèches (figure 14).

Une analyse détaillée de la tendance climatique pour les deux dernières décennies montre une fracture entre la partie occidentale et celle orientale du Sahel. Alors que la tendance spatiale de la sécheresse était régionale durant les décennies 1980-1990 (i.e. que les sécheresses couvraient l'ensemble de la région), les deux dernières décennies 2000 & 2010 ont été marquées par une persistance de la sécheresse dans la partie ouest du Sahel (Sénégal, Mali,

Figure 14 : Indice du cumul pluviométrique saisonnier au Sahel

Mauritanie, Guinée) alors que l'Est de la région connaît un retour à des conditions pluviométriques globalement plus humides que la période sèche. Cette différenciation de tendance de la pluie apparue entre les parties occidentale et orientale du Sahel durant ces deux dernières décennies a été qualifiée de fracture climatique entre ces deux parties de la région.

Ce constat confirme que, même sur une région dont le climat est réputé homogène, le changement climatique global crée des différenciations qu'il est nécessaire de prendre en compte dans les politiques environnementales et économiques.

*Est-ce un retour à la normale ?
Non, il s'agit d'un climat encore
plus variable et un régime
pluviométrique durablement
modifié*

La reprise des totaux pluviométriques annuels au Sahel est due avant tout à une augmentation relative de la fréquence de pluies intenses : les deux dernières ont vu une augmentation de 40% de la proportion de pluie annuelle associée à ce type de pluie. Dans le même temps, la fréquence de jours pluvieux est restée inchangée par rapport à celle enregistrée durant la sécheresse, soit un déficit de 20% en moyenne par rapport aux décennies antérieures.

De même, la pluie annuelle actuellement observée au Sahel reste inférieure de 10 à 15% à ce qu'elle était lors des décennies humides 1950 et 1960, du fait notamment d'un déficit persistant du nombre d'événements pluvieux durant la mousson. Donc, au seul plan des cumuls annuels, il semble difficile de parler d'un « retour à la normale ».

Cette persistance d'un déficit d'événements pluvieux, conjuguée à un renforcement des pluies intenses, correspond typiquement à un climat plus extrême,

caractérisé à la fois par des périodes sèches plus sévères et des précipitations plus fortes quand il pleut.

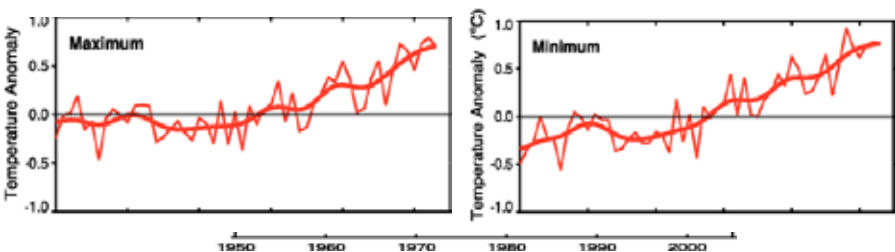
Le cycle saisonnier des pluies au Sahel est profondément altéré

De même que la variabilité interannuelle, le cycle saisonnier est durablement altéré. Avant la grande sécheresse de la fin du XX^e siècle, le pic de pluviométrie se produisait en fin août. Depuis la sécheresse, ce pic s'est déplacé au milieu du mois d'août, accentuant la précarité pluviométrique en fin de cycle pour la culture du mil et diminuant l'eau disponible dans les sols pour les cultures de contre-saison.

Le Sahel se réchauffe à l'instar d'autres régions du monde, d'après les données collectées par les États membres du CILSS

D'après l'analyse des données collectées par les réseaux d'observation gérés par les services nationaux de météorologie des pays CILSS/CEDEAO, l'analyse des tendances globales des températures au Sahel montre une augmentation continue à la fois des températures journalières maximum et minimum (figure 15). Les températures journalières maximums augmentent en moyenne de 0,14°C tous les dix ans alors que les températures minimums augmentent de 0,20°C. Il ressort de ces analyses que les températures minimums augmentent à un rythme plus accéléré que les températures maximums, ce qui d'après le GIEC est caractéristique de l'impact des gaz à effet de serre. Cette augmentation des températures au niveau de notre espace est supérieure aux seuils de l'Accord de Paris qui recommandait une augmentation décennale limitée à 0,1°C, i.e. 1°C à l'horizon 2100.

Figure 15 : Tendances moyennes des températures minimum et maximum au Sahel



3.2 Scénarios prospectifs pour le futur

Une question importante pour les politiques et stratégies d'adaptation est de savoir comment le régime climatique au Sahel et en Afrique de l'Ouest poursuivra son évolution future avec le réchauffement climatique mondial.

Depuis des années, les modèles climatiques globaux et régionaux nous permettent d'anticiper l'évolution du climat futur. Sur le plan pluviométrique, les modèles ne prévoient pas les mêmes tendances pour le futur. Certains modèles prévoient un assèchement modéré, d'autres une sécheresse cataclysmique, d'autres une augmentation des précipitations.

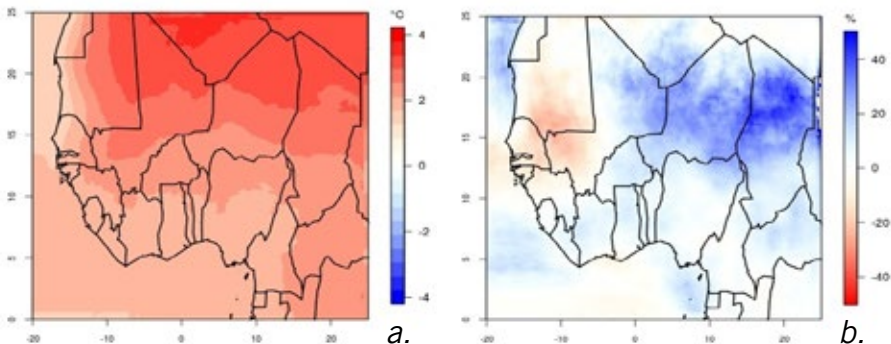
Malgré cette divergence, les analyses des sorties des modèles permettent de dégager des tendances cohérentes entre plusieurs modèles et des moyennes d'ensemble donnant des tendances plus robustes.

Par contre, sur le plan des températures, les scénarios sont plus robustes et consistants entre les modèles. Plusieurs initiatives internationales de grande

envergure ont été conduites pour produire des scénarios climatiques futurs à partir de plusieurs modèles. Il s'agit en particulier de l'expérience CIMP5 (Coupled Model Intercomparison Project) qui produit des scénarios à partir des modèles globaux et de l'expérience CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) qui produit des scénarios régionaux.

Il ressort de l'analyse des scénarios CIMP5 et de l'expérience CORDEX, une augmentation généralisée de la température sur le Sahel et l'Afrique de l'Ouest. Au niveau de la pluviométrie, à l'instar des tendances observées à partir des données mesurées, il est attendu une baisse de la pluviométrie pour le Sahel occidental aux horizons 2050 et 2100, et une hausse des précipitations pour le Sahel oriental (figure 16).

Figure 16 : Scénarios climatiques pour le Sahel et l'Afrique de l'Ouest à l'horizon 2070, RCP8.5. Anomalies des températures de surface (a) et des précipitations (b). Sur la carte (a), la couleur rouge indique une augmentation des températures et sur la carte (b) la couleur bleue indique une augmentation des précipitations. Il s'agit de la moyenne JJAS (Juin à Septembre) de la période future 2041-2070 par rapport à la période de référence 1981-2010. Ces résultats sont la médiane des simulations de CIMP5 en considérant le scénario extrême RCP85



4. IMPACTS CLIMATIQUES SUR LES SECTEURS VITAUX



La saison des pluies est au centre de la vie des populations ouest-africaines. Elle régit les ressources en eau, l'agriculture, l'approvisionnement énergétique via les barrages, et même la santé : l'arrivée de la pluie favorise par exemple le paludisme. Les sections ci-après synthétisent les répercussions et les impacts du climat dans les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de l'élevage.

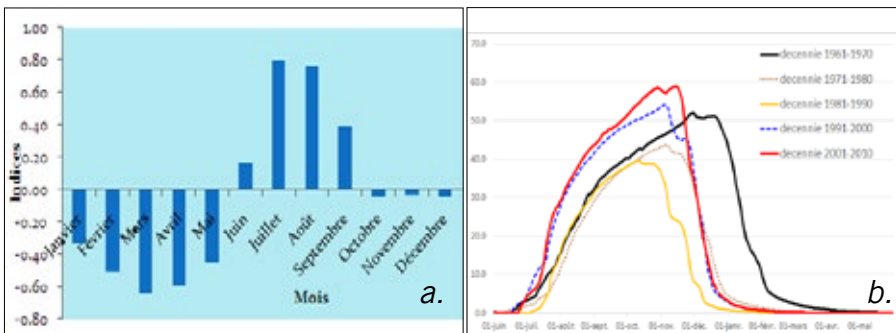


4.1. Impacts sur les ressources en eau

La variabilité et le changement climatiques ont un impact direct et important sur la disponibilité des ressources en eau pour les différents usages et les extrêmes hydrologiques comme les inondations.

La tendance actuelle des ressources en eau de surface au Sahel se caractérise par une forte augmentation des écoulements en saison des pluies, i.e. en une période où l'on a le moins besoin de ces ressources et par une diminution de leur disponibilité en saison sèche, i.e. une diminution des ressources en eau en une période où on en a le plus besoin.

Figure 17 : (a) Anomalies des écoulements mensuels au Sahel et (b) Comparaison des cycles saisonniers des écoulements pour différentes décennies



Sur le plan des inondations

La région Sahel-Afrique de l'Ouest subit une recrudescence d'inondations à la fois meurtrières et dévastatrices sur le plan économique, culturel et de santé. Depuis une dizaine d'années, c'est l'ensemble de la région qui est touché par ces inondations d'une ampleur inhabituelle.

La recrudescence d'inondations d'ampleur sans précédent constitue-t-elle les signes avant-coureurs d'une nouvelle ère hydroclimatique dans notre espace ?

Attribution des inondations

On peut attribuer cette recrudescence des événements extrêmes à l'effet conjugué de l'intensification pluviométrique et à des changements d'usage des terres. La déforestation, la réduction des jachères, l'ensablement du lit des cours d'eau et l'urbanisation se conjuguent pour diminuer la capacité d'absorption de l'eau par les sols.

La recrudescence des inondations n'est donc pas due uniquement au réchauffement climatique, mais également aux changements d'usage des sols et aux dynamiques sociodémographiques. De même, la remontée des eaux souterraines, liée à une modification des processus d'infiltration, joue un rôle important dans certaines zones.

Il s'agit donc d'une problématique de changements globaux dont le réchauffement climatique n'est qu'une composante.

Par ailleurs, cette intensification du cycle hydrologique qui se manifeste dans notre région est conforme à la théorie sur le fait qu'une atmosphère plus chaude et contenant plus de vapeur d'eau, devient plus explosive quand il pleut.

Impacts des inondations

Les Sahéliens avec une culture de gestion du risque de sécheresse sont pris au piège par les inondations

Les inondations sont à l'origine de beaucoup de décès, des déplacements de populations, d'énormes dégâts causés aux cultures et, de manière générale, aux biens économiques et parfois des impacts culturels importants avec par exemple des inondations de lieux sacrés comme les cimetières.

Ayant vécu plus de trois décennies de sécheresses consécutives, les populations sahéniennes se sont adaptées à une gestion du stress hydrique : occupation des bas-fonds et installation dans les lits majeurs des cours d'eau. Cette situation les rend fortement vulnérables à cette nouvelle donne caractérisée par l'occurrence régulière d'inondations de grande ampleur.

L'appropriation par les décideurs et les acteurs de la société des enjeux climatiques qui les touchent est donc essentielle. Aussi, cette nouvelle ère hydroclimatique implique de mettre en œuvre des politiques d'adaptation identifiées : agroforesterie et petits ouvrages

en zone rurale pour faciliter l'infiltration de l'eau, révision des schémas d'assainissement des villes et, de manière plus générale, actualisation des normes hydrologiques qui servent de base au dimensionnement des infrastructures.

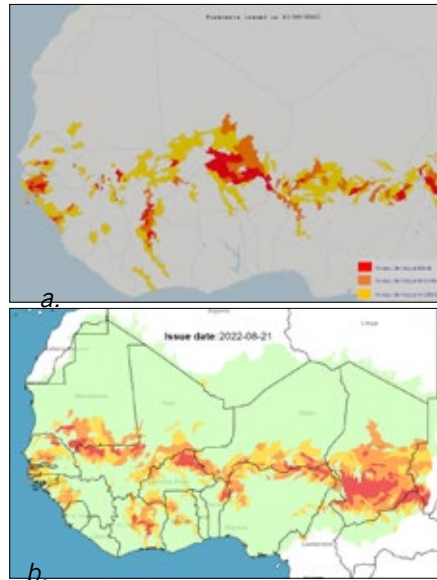
En effet, il convient d'adapter les normes hydrologiques par rapport à la situation en cours : les réglementations, utilisées pour dimensionner les ouvrages de génie civil et les barrages, ont été élaborées il y a parfois plus de quarante ans. Elles sont aujourd'hui complètement inadaptées, mais les États ou les entreprises n'en ayant pas vraiment pris acte, n'ont toujours pas été révisées. Par exemple au niveau du fleuve Niger à Niamey, la crue centennale a été observée trois (3) fois en l'espace de trois ans.

Prévision du risque d'inondations

Face à la recrudescence des inondations, le CILSS a renforcé son dispositif de veille régionale pour la mise en place d'un système de prévision opérationnelle du risque d'inondations et d'appui aux alertes précoces. Appelé FANFAR (*Operational Flood Forecasting and Alerts for West-Africa and Sahel*), ce système permet à AGRHYMET d'émettre quotidiennement des prévisions du risque d'inondations sur les 10 prochains jours pour l'ensemble des pays CILSS-CE-DEAO. Ces prévisions sont accessibles en ligne via l'adresse fanfar.eu. La figure 18a illustre des prévisions émises pour la saison des pluies 2020 qui était une saison exceptionnelle sur le plan des inondations. La prévision a bien capté cette situation. De même, la figure 18b illustre des prévisions émises en août

2022 qui ont alerté sur des inondations exceptionnelles au Tchad. Ces inondations ont effectivement eu lieu et ont bien secoué la ville de N'Djamena.

Figure 18 : Prévisions du risque d'inondations (a) pour la saison des pluies 2020 et (b) pour la saison des pluies 2022, deux années récentes ayant été marquées par d'importantes inondations au Sahel

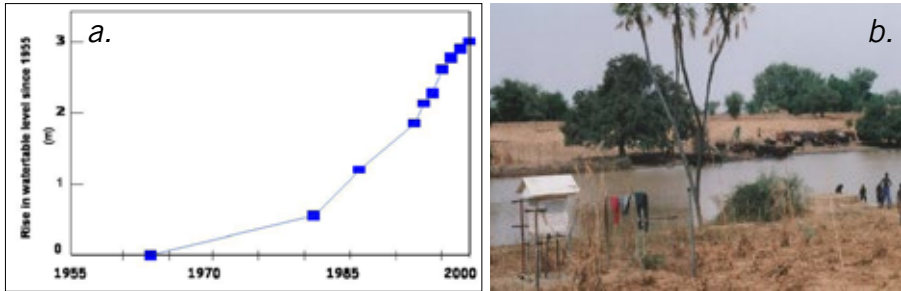


Paradoxe du Sahel, la pluie baisse, mais les eaux souterraines augmentent

Les changements globaux (climatiques et des états de surface) en cours n'ont pas que des inconvénients, mais des fois, ils présentent des avantages et des opportunités à saisir. Par exemple, pendant que la pluviométrie baisse de plus de 50 ans, le niveau des nappes phréatiques en rive droite du fleuve Niger au Niger ne font qu'accroître. La figure 19a illustre la tendance crois-

sante du niveau de la nappe observée à partir des mesures piézométriques et la figure 19b montre une marre créée à partir de l'affleurement de l'eau de la nappe.

Figure 19 : Augmentation du niveau de la nappe phréatique en Rive droite de Niamey (a) et affleurement de l'eau de la nappe à la surface (nappe artésienne) (b)



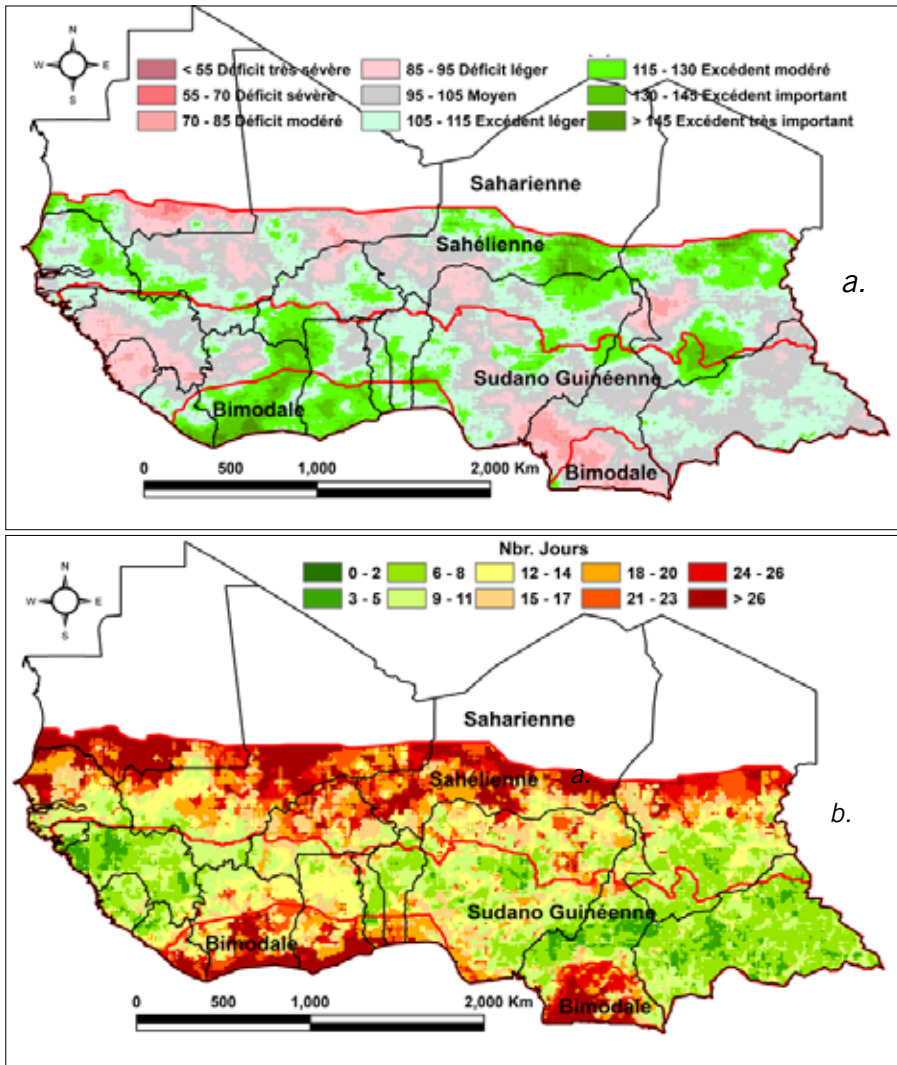
4.2 Impact sur l'agriculture

Ce «nouveau» climat a des conséquences particulièrement graves, en rendant les récoltes plus aléatoires du fait de périodes sèches plus sévères en saison des pluies et de l'augmentation excessive des températures.

Ainsi, les périodes sèches prolongées en cours de saison des pluies devraient inciter à développer de nouvelles variétés de mil ou de légumineuses, résistantes à ce déficit pluvieux. Or, la recherche agronomique a plutôt privilégié jusqu'à présent le développement de variétés à cycle court, en partant du présupposé que la baisse de la pluie annuelle était associée à une saison des pluies plus courte, ce qui n'est pas souvent le cas.

La problématique de la nouvelle donne climatique ne porte pas sur des cumuls pluviométriques faibles. Par exemple, en trois mois, il pourrait tomber 600 mm de pluie à Niamey, soit autant qu'en 12 mois à Paris, mais avec une évaporation très supérieure ! La problématique porte sur l'augmentation des séquences sèches qui impactent négativement les productions agricoles. Par exemple, la saison 2021 a été caractérisée par des cumuls pluviométriques équivalents ou supérieurs aux moyennes, mais en même temps par des séquences sèches très longues (figure 20). La conséquence est que le Niger, par exemple, a connu plus de 37% de déficit de production agricole, malgré des cumuls pluviométriques supérieurs à la moyenne.

Figure 20 : La tendance climatique actuelle caractérisée par d'extrêmes séquences sèches durant la saison des pluies a des impacts majeurs sur les récoltes : a) cumul saisonnier de 2021 ; b) longueur des séquences sèches de 2021



Simulation de l'impact des changements climatiques

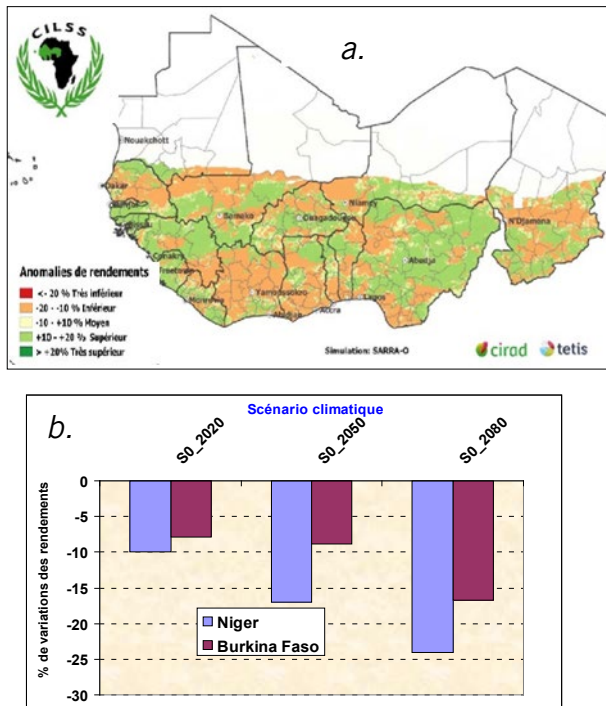
Pour simuler l'impact des changements climatiques, le Centre Régional AGRHYMET dispose d'un modèle de cultures appelé SARRA-O codéveloppé avec le CIRAD (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, Montpellier, France).

SARRA-O est plus spécifiquement adapté à l'analyse d'impact du climat sur la croissance des céréales sèches et du rendement potentiel en milieu tropical. Ce modèle de culture simule le rendement potentiel sous contraintes hydriques en intégrant les processus de

bilan hydrique des sols, d'évaporation et de transpiration potentielle et réelle, de phénologie.

Il a montré de bonnes performances dans le cadre d'analyse d'impact du climat pour des céréales tropicales. Il a été calibré avec une série de variétés locales et modernes (de mil, de sorgho et de maïs) à partir d'essais en milieux contrôlés. La figure 21a représente une simulation des rendements de mil, issue du modèle SARRA-O, et la figure 21b représente des scénarios de rendements de mil à l'horizon 2050 et 2080.

Figure 21 : (a) Simulation des rendements du mil avec le modèle SARRA-O ; (b) Scénarios de rendements de mil aux horizons 2050, 2080 pour le Niger





4.3. Impacts sur l'élevage

Le changement climatique et particulièrement la fréquence des sécheresses et les vagues de chaleur pèsent lourdement sur la productivité de l'élevage et surtout de l'élevage pastoral. Cet impact se manifeste à travers la baisse de productivité des ressources pastorales, notamment les ressources en eau, à travers le stress sur les animaux et sur la modification des circuits et amplitude de la transhumance.

Changement climatique et ressources pastorales

En général, les impacts des changements climatiques dans le secteur de l'élevage se manifestent, entre autres, par une diminution des disponibilités en eau, une régression du potentiel de biomasse, une dégradation des pâturages (UICN, 2011). L'augmentation de la température se traduit par un effet négatif sur l'alimentation du bétail et expose les animaux aux maladies thermiques.

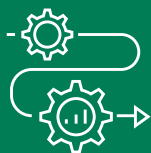
L'augmentation de la chaleur cause un stress chez les animaux, qui peut venir à augmenter leur consommation d'eau et à limiter leur alimentation, ce qui provoque la diminution de la production, notamment de lait. La baisse de l'ingestion et l'augmentation de l'abreuvement sont expliquées par la nécessaire thermorégulation, qui permet aux ruminants de maintenir leur température corporelle quasi constante. Il a été démontré (NRC, 1981) que lorsque la température augmente de 30°C, les bovins, les ovins, les porcs, les poulets réduisent leur consommation de tous les aliments de 3 à 5% pour chaque 1°C d'augmentation.

Changement climatique et modification des circuits et amplitude de la transhumance

Les effets de la variabilité et du changement climatique entraînent des mutations importantes dans le fonctionnement du pastoralisme : départ précoce des animaux en transhumance, sédentarisation dans les zones d'accueil d'un nombre sans cesse croissant d'animaux et des éleveurs-pasteurs dont beaucoup s'adonnent aussi à l'agriculture.

Les effets des longues sécheresses sont ressentis sur les activités pastorales avec une instabilité des pasteurs et de leurs troupeaux qui descendent de plus en plus vers le Centre et le Sud en quête de ressources pastorales.

Les distances parcourues pour accéder aux pâturages deviennent plus grandes, dépassant fréquemment les limites du territoire national, prolongeant ainsi les temps de séjour dans les zones d'accueil. De ce fait, les zones d'accueil des transhumants transfrontaliers sont confrontées à une pression accrue sur les ressources naturelles.



5. ÉVOLUTION INSTITUTIONNELLE, AGRHYMET DEVIENT AGRHYMET CCR-AOS

La consécration : AGRHYMET devient AGRHYMET CCR-AOS

Sur le plan institutionnel, le Centre Régional AGRHYMET a connu une consécration dans le domaine du climat. Du centre des applications opérationnelles en agrométéorologie, hydrologie et météorologie à sa création, le Centre Régional AGRHYMET est aujourd'hui passé à Centre Climatique Régional pour l'Afrique de l'Ouest et le Sahel : AGRHYMET devient AGRHYMET CCR-AOS.

Cette consécration rentre dans le cadre d'une dynamique internationale, pilotée par l'Organisation Météorologique Mondiale, visant à doter chaque région d'un Centre Climatique Régional de référence (CCR). Chaque CCR devrait être adossé à la commission économique de la région et accrédité par l'OMM. À cet effet, le rôle important du Centre Régional AGRHYMET en matière de fourniture de services climatiques en Afrique de l'Ouest est unanimement reconnu par les services météorologiques africains. Ceci a été réaffirmé par ces derniers lors de leur 15^e réunion tenue en novembre 2010 à Marrakech, lorsqu'ils ont proposé qu'AGRHYMET soit l'un des six Centres Climatiques Régionaux (CCR) à

mettre en place en Afrique, chacun de ces Centres devant servir une Communauté Économique Régionale.

Le processus d'endossement d'AGRHYMET par la CEDEAO comme le CCR-AOS a abouti en juillet 2021. Aujourd'hui, AGRHYMET est dans la phase de démonstration pour obtenir son accréditation par l'OMM.

Ainsi, cette évolution institutionnelle confère à AGRHYMET le statut de Centre Climatique Régional de référence pour toute la région. Ce statut renforce son positionnement sur le plan de la délivrance des services climatiques, en rendant obligatoire un certain nombre de fonctions :

- i) la fourniture des prévisions saisonnières (prévisions longues échéances) ;
- ii) le suivi opérationnel climatique régional ;
- iii) la gestion d'une base des données régionale dans le domaine du climat ;
- iv) le renforcement des capacités des pays et des acteurs.

Figure 22 : Images de l'évolution du portail d'accueil d'AGRHYMET



Figure 23 : Vue aérienne d'AGRHYMET CCR-AOS



**CILSS - Comité Permanent Inter-États de Lutte
contre la Sécheresse dans le Sahel**

03 BP 7049 Ouagadougou 03 - BURKINA FASO
Tél. : +226 25 49 96 00 - Fax : +226 25 37 41 32
Email : administration.se@cilss.int
www.cilss.int