

# Zones semi-arides : le Sahel sensible aux variations de pluies



© IRD/G. Fédière

Village sur le fleuve Niger à Gao, à l'est du Mali. Si la sécheresse a sévi au Sahel au cours de la seconde moitié du xx<sup>e</sup> siècle, les précipitations ont repris depuis les années 1990.

**L**a bande sahélo-soudanienne, qui s'étend du Sénégal jusqu'au Soudan, est pointée par les experts du Giec comme une des régions du globe les plus vulnérables au changement climatique. Cette région semi-aride d'Afrique voit sa température augmenter depuis 60 ans, avec une transformation du régime des pluies. Et les prévisions climatiques y anticipent une hausse de 3 à 4 °C d'ici la fin du XXI<sup>e</sup> siècle, avec des conséquences dramatiques en termes de sécurité alimentaire, de disponibilité en eau et pour la santé des populations. Paradoxalement, le 5<sup>e</sup> rapport du Giec pointe une absence de preuves des impacts du changement climatique déjà à l'œuvre dans la région, dans des domaines clés comme l'agriculture. Cela ne signifie pas que le changement climatique n'a pas eu d'effets jusqu'à présent, mais qu'il est difficile de les mettre en évidence aussi clairement que dans d'autres régions du globe. Cette incertitude est liée à la très forte variabilité naturelle des précipitations dans la région, mais aussi au rôle dominant des activités humaines dans la transformation des milieux sahéliens. Depuis les années 1950, la croissance démographique rapide dans cette partie du continent africain a en particulier intensifié l'exploitation des terres, une pression qui a modifié durablement les milieux et les paysages.

Le manque d'information sur les impacts avérés du changement climatique est également dû au manque de données et d'études dans la région.

Le Sahel est une zone semi-aride parmi d'autres. Si ce chapitre lui est consacré, c'est que les enjeux en termes de développement y sont importants. Les recherches interdisciplinaires menées par l'IRD dans cette région permettent une vision fine des interactions entre le climat, les milieux et l'homme, indispensable pour comprendre les effets du changement climatique à l'échelle régionale.

## Transformation du régime des pluies au Sahel

Le Sahel se réchauffe régulièrement depuis les années 1950. La température moyenne y a augmenté de 1,5 °C environ. Mais ce réchauffement n'est ni homogène au cours de l'année, ni à l'échelle de la région. Le réchauffement observé est particulièrement marqué et régulier au printemps, alors que les températures sont déjà très élevées durant cette période de l'année. Il est aussi nettement plus fort la nuit que le jour (supérieur à 2 °C). La température augmente également plus fortement sous les latitudes où les températures sont déjà les plus fortes, dans des régions exposées à des chaleurs déjà critiques pour les écosystèmes, comme le nord du Mali.

Si le réchauffement est mesurable, l'évolution des précipitations est en revanche plus difficile à caractériser. Le Sahel a connu des sécheresses sévères au cours des années 1970-1980. Cette rupture des précipitations est un des plus forts signaux climatiques jamais enregistrés depuis le début des mesures météorologiques. Depuis les années 1990, on assiste cependant à une reprise des précipitations.

Dunes dans le désert du Ténéré au Niger. Le Sahel s'est réchauffé de 1,5 °C depuis 1950.



© IRD/F. Blanchon



Arrivée de la pluie au Niger.  
Au Sahel, les orages sont plus violents depuis une vingtaine d'années.

### « Intensification » du régime des pluies

Cette augmentation de la pluviosité n'est cependant pas un retour à la normale, autrement dit à la période de référence des années 1960. Elle ne concerne d'abord qu'une partie du Sahel continental (Mali, Burkina Faso, Niger). L'ouest du continent, le Sénégal en particulier, est toujours caractérisé par une baisse des précipitations. Ensuite, l'augmentation des précipitations depuis une vingtaine d'années est plus liée à l'intensité des orages qu'à leur fréquence. Les orages sont aujourd'hui toujours moins nombreux qu'avant la sécheresse. Mais ils sont plus forts, avec comme conséquence des volumes d'eau enregistrés proches de ceux des années 1960. Les précipitations sont aussi devenues plus incertaines, avec des années de sécheresse intermédiaire. Face à cette alternance d'événements extrêmes, les chercheurs parlent d'« intensification » du régime des pluies.

Même s'il existe une incertitude forte sur l'évolution des pluies au Sahel sous l'effet du réchauffement climatique, un scénario de plus en plus probable semble se dessiner dans la littérature scientifique. Ce scénario est celui d'un Sahel occidental (Sénégal, ouest du Mali) qui s'assèche surtout au début de la saison de mousson et d'un Sahel central et oriental qui s'humidifie surtout à la fin de l'hivernage.

### Des précipitations extrêmes de plus en plus nombreuses depuis 1990

Une des caractéristiques du changement climatique est l'augmentation des événements extrêmes. Mais il existe très peu d'études sur le sujet. Des travaux de l'unité LTHE au Sahel montrent que les extrêmes pluviométriques deviennent plus marqués à partir de 1990, confirmant un changement important du régime pluviométrique au tournant du siècle.

Il existe très peu d'études sur les extrêmes pluviométriques au Sahel. En cause, le manque de données, mais aussi les difficultés méthodologiques pour étudier les pluies les plus intenses. En effet, rares par définition, les événements extrêmes sont particulièrement difficiles à quantifier ce qui, ajouté à la forte variabilité interannuelle et décennale de la pluie au Sahel, rend difficile la détection de tendances.

Des chercheurs du LTHE ont surmonté ces contraintes en travaillant sur un ensemble de 43 séries pluviométriques journalières disponibles sur la période 1950-2010. Une analyse statistique basée sur la théorie des valeurs extrêmes a permis de fournir une vision régionale de l'organisation spatiale des extrêmes et de développer des méthodes novatrices pour détecter les tendances.

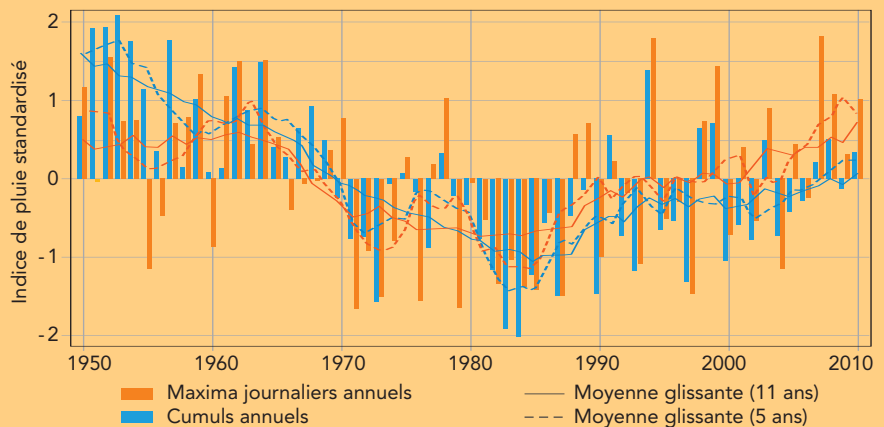
Ces développements ont permis d'étudier l'évolution du régime des précipitations extrêmes en lien avec la variabilité décennale des cumuls pluviométriques annuels.

La figure 23 met en évidence une différence nette dans l'évolution des précipitations totales annuelles (cumuls annuels) et des maxima journaliers annuels sur le Sahel central depuis 1950.

Alors que les cumuls annuels restent largement déficitaires par rapport à la moyenne de la période humide 1950-1970, la moyenne des maxima annuels affiche des valeurs supérieures à ce qu'ils étaient entre 1950 et 1970.

Les deux courbes se différencient nettement à partir de la fin des années 1990. Ceci confirme qu'un changement important du régime pluviométrique s'est produit au tournant du siècle, les extrêmes pluviométriques devenant plus marqués.

Figure 23. Évolution comparée des totaux et des maxima annuels de pluie sur le Sahel central (fenêtre 9,5° N-15,5° N 5° O-7° E) entre 1950 et 2010. Source : d'après PANTHOU *et al.*, 2014).



## Changement climatique ou variabilité naturelle du climat ?

Caractériser les changements du climat sahélien ne suffit cependant pas à attribuer leur cause. C'est une vraie difficulté pour les scientifiques de comprendre les mécanismes du réchauffement et du changement de régime des pluies, liés à la fois aux circulations climatiques globales et à des effets locaux. Et à l'échelle des circulations globales, il faut ensuite être capable de distinguer les effets de l'augmentation des gaz à effet de serre de ceux de la variabilité naturelle du climat. Les chercheurs de l'IRD et leurs partenaires se sont interrogés sur l'impact du changement climatique d'origine anthropique sur l'évolution du climat au Sahel. Leurs travaux montrent que le réchauffement récent observé est en bonne partie l'empreinte du forçage anthropique. En revanche, leurs résultats suggèrent que ce dernier joue un rôle mineur dans la transition pluviométrique des décennies 1980-1990, qui est pilotée principalement par la variabilité interne du système climatique (en particulier par l'Oscillation multidécennale de l'Atlantique) (cf. partie 1, p. 66).

### Moins de pluie, plus d'eau : le « paradoxe sahélien »

Les travaux hydrologiques de l'IRD au Sahel montrent bien l'importance de l'observation sur le long terme pour anticiper les réponses des milieux. La grande vague de sécheresse des années 1970 a provoqué, dans un premier temps, une forte baisse des débits des grands cours d'eau d'Afrique de l'Ouest (Niger, Sénégal, Gambie, Volta, Chari). Mais un comportement particulier des cours d'eau sahéliens a été observé : alors que leurs bassins subissaient une baisse des précipitations plus prononcée que les bassins plus méridionaux (donc plus pluvieux), les cours d'eau voyaient paradoxalement leurs débits augmenter, avec notamment des crues records. En 2010, la première crue due aux pluies de mousson a atteint deux fois son plus haut niveau jamais observé depuis 1929. En 2012, le record est à nouveau battu.

Crue exceptionnelle du fleuve Niger à Niamey en août 2012.

Les graves inondations causées par de fortes pluies ont fait 60 morts et 300 000 sinistrés dans le pays.



© IRD/T. Amadou

Ce phénomène est parfois dénommé « le paradoxe sahélien ». Le paradoxe n'est pourtant qu'apparent. Les nombreuses mesures hydrologiques au Sahel, en particulier celles de l'observatoire Amma-Catch, montrent que le ruissellement de l'eau s'est accéléré au cours des dernières décennies. Il entraîne une concentration d'eau plus rapide qui modifie le régime et les débits des cours d'eau.

Racines dénudées  
par les crues du fleuve  
Bani, affluent du Niger  
(Mali).

## Une augmentation du ruissellement liée aux activités humaines au Niger...

Les travaux de l'IRD au Niger montrent que la baisse de la capacité de rétention en eau des sols est une conséquence directe des activités humaines. L'accroissement démographique (la population du Niger passe de 3,2 millions d'habitants en 1960 à 15,5 millions en 2010, selon la Banque mondiale) s'est accompagné d'une pression accrue sur le milieu pour augmenter la production agricole. Le défrichage de la brousse et des forêts claires a entraîné un accroissement rapide des surfaces dénudées, provoquant une intensification du ruissellement. La réduction des périodes de jachère entraîne également un appauvrissement des sols, qui aboutit souvent à leur encroûtement, principal facteur du ruissellement.

### ... mais pas au Mali

Cependant, le paradoxe sahélien ne s'observe pas que dans le Sahel cultivé. Dans le nord du Sahel, une zone pastorale où la pluviométrie trop faible ne permet pas l'agriculture, les mares autrefois temporaires restent à présent en eau toute l'année, et de nouvelles mares apparaissent. Les mécanismes impliqués ne sont pas encore totalement élucidés, mais l'explication pourrait venir également d'une augmentation des capacités d'écoulement des sols dégradés. En effet, même en l'absence de défrichage, une partie significative du paysage a subi dénudation et érosion, suite aux épisodes sévères de sécheresse. Selon les observations au Mali, une fois le sol arraché, la végétation n'a pas pu se réinstaller au retour des pluies.



© IRD/M.-N. Favier

### Transformation de la pêche dans le delta intérieur du Niger

Les travaux de l'unité Prodig et de leurs partenaires maliens ont montré comment la baisse du débit du fleuve Niger a réduit les ressources halieutiques et a finalement abouti à la réorganisation du marché régional du poisson.

Débarquement de poissons à Mopti, dans le delta central du Niger (Mali).

Dans le delta intérieur du Niger au Mali, les captures de poissons de l'ensemble du delta sont ainsi passées de 100 000 tonnes dans les années 1960 à environ 70 000 tonnes ces dernières années. Cette diminution de la ressource halieutique est une conséquence de la variation du régime des pluies dans la région, qui a modifié durablement le débit du fleuve et les surfaces inondables.

Mais l'homme n'est pas non plus étranger à cette dégradation, alors que la construction de barrages de retenue diminue le débit du fleuve en aval et réduit les zones inondables.

Le delta intérieur assure 80 % de la production de poissons du Mali. Au cours des quarante dernières années, alors que l'offre domestique diminuait, la demande de poissons augmentait au regard du triplement de la population. La satisfaction de cette demande

a conduit à une complète réorientation des flux commerciaux avec des importations de poissons congelés ou séchés, de l'ordre de 15 000 t/an, en provenance principalement du Sénégal, de la Mauritanie, de Côte d'Ivoire et de Guinée. La baisse de cette ressource dans le delta intérieur a également fait perdre au Niger la place dominante qu'il occupait dans les exportations régionales de poissons dans les années 1970, en particulier vers la Côte d'Ivoire et le Ghana. L'augmentation importante des captures de petits pélagiques dans les pays côtiers riverains et l'adaptation des commerçants sahéliens ont permis une réorientation rapide du marché. Cet exemple montre comment la péjoration des conditions hydroclimatiques sahéliennes a impacté l'organisation de la filière halieutique régionale.



© IRD/C. Lévêque

### Une baisse sévère des écoulements plus au Sud

Plus au sud, dans la zone des savanes soudaniennes, aucun « paradoxe » hydrologique n'est observé, et la raréfaction des pluies s'est accompagnée d'une baisse sévère des écoulements. Pourtant, cette région est également touchée par de forts taux de défrichement des forêts au profit des zones agricoles. Ces réponses opposées entre les zones sahélienne et soudanienne pour des forçages similaires (sécheresse et changement d'utilisation des sols) montrent la complexité des mécanismes en jeu. Les différents facteurs ne sont pas encore complètement identifiés, mais les parcours de l'eau (plutôt en surface au Sahel, en subsurface plus au sud), la nature et la structure des sols et des couverts végétaux jouent un rôle majeur.

L'accroissement du ruissellement au Sahel n'explique pas à lui tout seul les inondations sévères de ces cinq dernières années. Ces dernières coïncident aussi avec le retour de conditions plus humides et l'intensification des précipitations observés depuis 15 ans dans la région. Ces inondations ont des conséquences graves pour les populations. En 2012, la crue exceptionnelle du fleuve Niger a provoqué de fortes inondations dans la région de Niamey. Les autorités locales ont dénombré plus de 340 000 sinistrés, 44 morts et de nombreux dégâts matériels.

## Désertification ou reverdissement du Sahel ?

Région semi-aride, le Sahel est particulièrement sensible à la variabilité des précipitations. Les périodes de très forte sécheresse qui ont sévi entre les années 1970 et 1980 ont eu des effets dévastateurs sur les écosystèmes, les populations et leurs ressources. La transformation massive de l'usage des sols, liée en particulier à la rapide croissance démographique, a aussi été par endroits le moteur de cette dégradation des terres.

Village et jardins irrigués  
d'Akodédé, Niger.



© IRD/F. Anthelme



La théorie d'une désertification du Sahel a alors été ravivée, ainsi que celle prédisant une avancée rapide du Sahara sur le reste du continent. La désertification correspond à une dégradation des terres dans les zones sèches par suite de divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines. Cette dégradation se manifeste par une détérioration de la couverture végétale, des sols et des ressources en eau et aboutit, à l'échelle humaine de temps, à une destruction du potentiel biologique des terres et de leur capacité à faire vivre les populations.

La réalité de la désertification a fait l'objet de débats de longue date, difficiles à trancher à cause du manque d'observations globales et continues. L'arrivée de la télédétection satellitaire à partir des années 1980 a résolu ce problème, en donnant quotidiennement des images du couvert végétal. L'analyse des premiers indices de végétation satellitaires (NDVI) au début des années 1990 a alors mis en évidence une nette augmentation de la végétation depuis 1980. Ce reverdissement contredit ainsi l'idée de désertification du Sahel.

### **Un reverdissement généralisé depuis 30 ans**

Des travaux plus récents permettent même d'affirmer qu'il y a un reverdissement généralisé de la couverture végétale sur l'ensemble de la région sahélienne sur les trente dernières années. Ce reverdissement est globalement expliqué par la reprise des pluies, tout comme l'avancée du Sahara dans les années 1970 était liée à leur baisse. Ces phénomènes s'expliquent donc en grande partie dans le cadre de la variabilité interannuelle des précipitations.

Toutefois, la dégradation du couvert végétal perdure dans certaines régions comme dans le Fagara nigérien ou dans les régions centrales du Soudan. Par ailleurs, la maille satellitaire (9 km) est trop grossière pour percevoir la coexistence de dégradation et reverdissement à une plus petite échelle.

Aujourd'hui, si le reverdissement ne fait pas de doute, les chercheurs restent prudents sur l'évolution future de la végétation, qui sera en particulier liée à celle des précipitations.

## **L'agriculture pluviale face au changement climatique**

Au Sahel, l'agriculture est principalement pluviale, donc très dépendante du régime des pluies. La variabilité des précipitations influence la production alimentaire, comme l'illustre le lien direct entre les grandes sécheresses et les famines qu'a connues la région (1974, 1984-1985, 1992 et 2002). Dans ce contexte, les chercheurs tentent de mieux

Cultures maraîchères  
(choux et salades)  
au Burkina Faso.  
Au Sahel,  
l'agriculture pluviale  
couvre 93 % des terres  
cultivées.



© IRD/M.-N. Favier

comprendre et d'anticiper les conséquences des fluctuations climatiques sur l'agriculture. Ils s'appuient pour cela sur des modèles complexes qui associent des données climatiques, agronomiques et économiques. Dans le 5<sup>e</sup> rapport du Giec, les résultats de la modélisation des cultures indiquent des pertes de rendements agricoles mondiaux de 2 % par décennie (en moyenne) au cours du XXI<sup>e</sup> siècle. Des impacts particulièrement importants sont attendus en Afrique, où les rendements pourraient chuter de 20 % à l'ouest du Sahel selon des travaux récents (encadré 27).

Cependant, les prévisions restent difficiles à réaliser, du fait des fortes incertitudes à la fois des projections régionales du changement climatique et de la réponse du couvert végétal aux changements environnementaux (pluie, température, concentration de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère). Le travail de prévision ne doit pas non plus sous-estimer l'adaptation progressive des systèmes agricoles aux changements environnementaux. En effet, la relation climat/plante ne suffit pas à prédire les rendements. Des études sur le mil, principale culture du Sahel, montrent comment les variétés se sont progressivement adaptées à la sécheresse. La biodiversité du mil, bien préservée, a permis une sélection naturelle et humaine : les plantes les plus précoces résistent mieux à la sécheresse, donc poussent mieux, et sont donc sélectionnées par les paysans pour la saison suivante (cf. partie 3, p. 211).

## Une baisse des rendements agricoles en Afrique de l'Ouest sous l'effet du réchauffement

L'Afrique de l'Ouest est très vulnérable aux aléas climatiques.

Une meilleure compréhension de l'impact du changement climatique sur les rendements agricoles est donc fondamentale pour élaborer des stratégies d'adaptation.

Des climatologues de l'IRD et leurs partenaires internationaux prévoient une baisse de 16 à 20 % des rendements du sorgho dans certaines régions d'Afrique de l'Ouest.

Quels sont les impacts du changement climatique sur les rendements de sorgho en Afrique de l'Ouest ? Pour répondre à cette question, des climatologues de l'IRD, en collaboration avec des équipes américaines, maliennes et australiennes, ont utilisé des modèles agronomiques, qui permettent de simuler les rendements agricoles en fonction des conditions climatiques, qu'ils ont ensuite croisés avec les scénarios climatiques futurs. Face aux incertitudes de ces différents modèles, l'étude a pris en compte les simulations de neuf modèles climatiques du Giec et de deux modèles de culture.

### Scénarios climatiques futurs

Les projections climatiques basées sur le scénario d'émissions du Giec RCP 8,5 prévoient un réchauffement moyen de + 2,8 °C entre 2031 et 2060, par rapport à une période de référence de 1961 à 1990. Les neuf modèles utilisés prévoient également un changement significatif des précipitations en Afrique de l'Ouest, avec moins de pluie dans la partie occidentale du Sahel (Sénégal, sud-ouest du Mali) et plus de pluie au Sahel central (Burkina Faso, sud-ouest du Niger).

Les déficits pluviométriques prévus sont concentrés au début de la mousson dans la partie occidentale du Sahel, tandis que les augmentations de précipitations se produisent à la fin de la saison de la mousson, ce qui suggère un changement dans la saisonnalité de la mousson.

### Une baisse des rendements plus forte à l'ouest du Sahel

En réponse à ce changement climatique, et sans tenir compte de la réponse des cultures en fonction de l'élévation du CO<sub>2</sub>, les projections des chercheurs montrent une diminution du rendement des cultures d'environ 16 à 20 % dans la partie occidentale du Sahel. La partie orientale enregistrerait, elle, des impacts plus modérés avec une baisse des rendements comprise entre 5 et 13 %.

Ces projections de baisse des rendements sont constantes d'un modèle à l'autre. Elles résultent de l'augmentation de température qui réduit la longueur des cycles de culture et augmente le stress hydrique, à travers une évaporation accrue. Cet effet négatif des températures se combine avec une baisse des pluies à l'ouest du Sahel.

© IRD/J. Séguier



Champ de sorgho au Niger.

## Vulnérabilité des populations rurales

Depuis les grandes vagues de sécheresse des années 1970-1980, le Sahel est devenu une région emblématique de la vulnérabilité des populations rurales du Sud. Leur dépendance directe aux ressources naturelles et à l'agriculture pluviale les place en première ligne face aux risques climatiques identifiés dans la région. Le Giec pointe en particulier les impacts du changement climatique sur la ressource en eau, avec des conséquences sur la production alimentaire et sur l'accès à l'eau potable. Il est cependant impossible de prévoir quels seront les impacts sur ces populations. De nombreuses études montrent en effet comment elles ont depuis toujours su s'adapter aux variations du climat et des ressources (encadré 28 et partie 3, p. 233). Cette capacité d'adaptation suffira-t-elle pour faire face au changement climatique à venir ? La réponse dépendra aussi de l'intensité et de la rapidité de ce dernier.

Retour annuel de la rivière  
Komadougou Yobé,  
à la frontière entre Niger  
et Nigeria.  
Ce moment est important  
pour les populations  
(pêche, irrigation, troupeaux)  
et pour la recharge  
de la nappe phréatique.



© IRD/C. Leduc

Encadré 28

### Lac Tchad : les riverains s'adaptent à la baisse des eaux

La superficie du lac Tchad, jadis l'un des plus grands du monde, a été divisée par dix depuis les années 1960. Si le niveau du lac a de tout temps fluctué, son assèchement progressif est devenu emblématique du changement climatique en cours. L'assèchement du lac a eu d'importantes modifications sur les modes de vie des 20 millions de riverains, qui vivent essentiellement de la pêche, de l'élevage et des cultures.

Port de Doro Léléwa au Niger, près du lac Tchad.

Situé au cœur de la bande sahélienne, le lac Tchad constitue une ressource en eau essentielle pour les pêcheurs, éleveurs et cultivateurs des quatre pays riverains : le Niger, le Nigeria, le Tchad et le Cameroun.

Ce lac a connu d'importants changements ces dernières décennies. Il y a 50 ans, il était comparable à une mer intérieure d'une superficie de 20 000 km<sup>2</sup>.

Les sécheresses répétées des années 1970 et 1980 ont entraîné son assèchement rapide jusqu'à réduire sa superficie à environ 2 000 km<sup>2</sup>.

La variabilité du niveau et de la surface du lac Tchad est un phénomène bien connu depuis les années 1960, principalement grâce aux travaux des hydrologues de l'IRD.

D'une profondeur très faible – de 2 m en moyenne –, le lac fonctionne comme une machine à évaporer, avec des pertes en eau très élevées.

Grâce à leur pluri-activité, les communautés rurales ont développé de longue date un système bien adapté aux fluctuations annuelles, interannuelles, voire décennales du niveau du lac.

Les périodes de hautes eaux étaient favorables à la pêche et à la régénération des sols, tandis que celles de basses eaux ont rendu possible le développement des cultures de polders.

L'assèchement du lac a laissé place à de nombreux hauts-fonds interdunaires qui ont, au fil des années, été aménagés en polders céréaliers.

Une équipe franco-nigérienne associant l'unité HydroSciences a étudié les modifications des modes de vie qui se sont opérées autour du lac Tchad durant l'assèchement des dernières décennies.

Les résultats montrent comment les sociétés sahéliennes ont su s'adapter à un changement environnemental majeur, à travers l'évolution des systèmes de production dans la région de Bosso au Niger. Au fur et à mesure que le lac a régressé, les habitants ont investi les sols fertiles et humides devenus accessibles pour planter du maïs, du niébé, du riz, du sorgho qui poussent sans irrigation ni fertilisants, abandonnant peu à peu la culture pluviale du mil sur les berges, devenue particulièrement aléatoire.



© IRD/H. Kiari Fougou

Sultan Benjamin, Dardel C., Guichard F., Kergoat L., Lebel Thierry, Peugeot Christophe, Weigel Jean-Yves, Sinaba F. (2015).

Zones semi-arides : le Sahel sensible aux variations de pluie.

In : Reinert M., Janicot Serge (ed.), Aubertin Catherine (ed.), Bernoux Martial (ed.), Dounias Edmond (ed.), Guégan Jean-François (ed.), Lebel Thierry (ed.), Mazurek Hubert (ed.), Sultan Benjamin (ed.), Sokona Y. (pref.), Moatti Jean-Paul (pref.).

Changement climatique : quels défis pour le Sud ?

Marseille : IRD, 115-127. ISBN 978-2-7099-2168-8