



Nations Unies

Convention sur la lutte
contre la désertification

SÉCHERESSE, DÉSERTIFICATION ET REVERDISSEMENT AU SAHEL



Nations Unies
Convention sur la lutte
contre la désertification

Luc Descroix et la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification, 2021. Cet article a été préparé par Luc Descroix, Institut de recherche pour le développement (IRD), France.

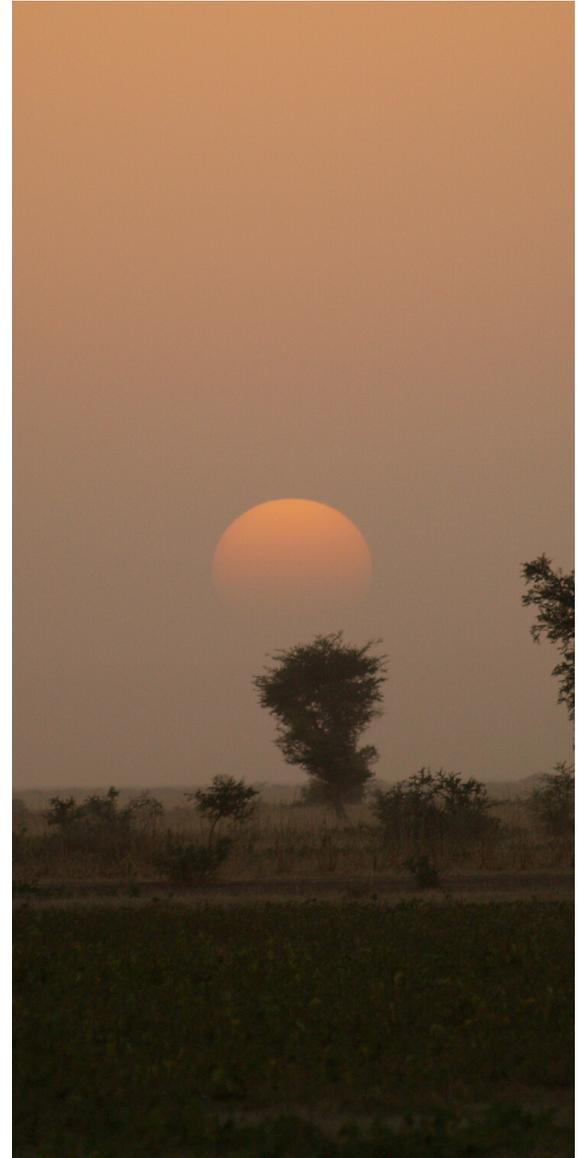
Les termes utilisés et le contenu de ce produit ne reflètent pas l'opinion de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD) concernant le statut juridique ou le développement de tout pays, territoire, ville ou zone ou de ses autorités, ou concernant la délimitation de ses frontières.

Les opinions exprimées dans ce document sont celles de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement les vues ou les politiques de la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification.

Photo de couverture : Coucher de soleil sur le Sahel | Kenyon Gerbrandt

L'Afrique de l'Ouest a connu un épisode de sécheresse très marqué de 1968 à 1993. Celui-ci a été d'autant plus brutal qu'il a succédé une période hyper humide de 1950 à 1967. Cette sécheresse a été à la fois exceptionnellement longue, prononcée (un déficit de 15 à 25% des pluies par rapport à la moyenne long terme, de 25 à 50% par rapport à la période humide antérieure) et spatialement étendue puisque toute l'Afrique de l'Ouest a été touchée, soit plus de 5 millions de km², même si, le déficit ayant été de plus en plus prononcé vers le Nord, c'est surtout la zone naturellement semi-aride, le Sahel, qui en a été le plus affecté. Depuis le milieu des années 1990, la pluviométrie a retrouvé son niveau moyen de long terme. (Ali et Lebel, 2009 ; Nicholson, 2013 ; Descroix et al., 2015, 2018)

La végétation et les sols ont été très dégradés. La durée de la sécheresse a fait que même les espèces adaptées à l'aridité ont souffert, et parfois été asséchées et ont donc péri, ce qui a laissé de grandes plages sans végétation. Les sols ont également été dégradés du fait de la dégradation de la végétation : de grandes étendues de sol nu ont subi un tassement et un encroûtement (Albergel, 1987 ; Ambouta, 1996 ; Cazenave et Valentin, 1992 ; Valentin et Bresson, 1992).



Ceci peut être le départ d'un cercle vicieux, puisque l'encroûtement des sols empêche l'eau de s'infiltrer dans le sol ; les conséquences en sont :

- un excès de ruissellement : on a parlé du paradoxe hydrologique du Sahel car, dès les premières années de la sécheresse, les petits cours d'eau strictement sahéliens ont vu leurs débits augmenter (Descroix et al., 2012 ; Mahé et al., 2013). Cette tendance perdure et est même affirmée par l'intensification des pluies et la fréquence plus élevée des événements extrêmes. Dans les zones endoréiques, qui représentent 50% environ de la surface du Sahel, on a remarqué pendant la sécheresse une augmentation du niveau des nappes ; en effet celles-ci sont alimentées par les mares formées par le ruissellement, et leurs superficies, volumes et leur durées en eau ont très fortement augmenté durant la sécheresse du fait de l'accroissement du ruissellement. Cela a d'ailleurs été une des premières observations du paradoxe du Sahel (Leblanc et al., 2008) ;
- un déficit hydrique des sols dans lesquels l'eau ne s'infiltré plus : comme cette situation a perduré après le retour de pluies, on dit qu'à la sécheresse climatique a succédé une sécheresse édaphique (sécheresse des sols) (Descroix, 2018)
- une aridification des milieux (on peut parler de désertification).

La population d’Afrique de l’Ouest augmente très vite (2,1% par an pour les pays de la CEDEAO, mais 3% pour les pays enclavés sans façade maritime de l’entité pour 2005-2025, soit le Sahel intérieur). Depuis une trentaine d’années, c’est, en particulier, l’ensemble des pays du Sahel qui connaissent les taux de croissance démographique les plus élevés de la planète. On peut estimer que les zones rurales du Sahel seront en 2025, 4 fois plus peuplées qu’en 1968 au début de la sécheresse (tableaux 1 et 2). Cela ne manque pas de provoquer une tension sur l’espace et sur les ressources en eau, et les ressources végétales, en lien avec la pression pastorale, celle de l’agrobusiness et l’accaparement des terres.

Tableau 1 : quelques données démographiques

Pays	Pop 2019 (millions)	Pop 2050 (millions)	Pop 2050/ pop 2019	Taux de fécondité	Espérance de vie	Mortalité infantile (‰)	Idh classement	% pop rurale	% croissance demog années 2005-2025
Burkina Faso	20,3	43,4	2,1	5,23	60,9	84	183	60	2,84
Cap Vert	0,55	0,68	1,2	2,29	72,7	20	125	34	1,98
Gambie	2,35	4,88	2,1	5,25	61,5	68	174	35	2
Guinée B	1,92	3,56	1,9	4,51	57,8	82	177	56	3,02
Mali	19,7	43,6	2,2	5,92	58,7	105	182	52	2,92
Mauritanie	4,53	9,03	2	4,59	64,6	79	159	25	2,44
Niger	23,3	65,6	2,8	6,95	61,8	102	189	75	3,23
Sénégal	16,3	33,2	2	4,65	67,5	45	164	45	1,86

Source: Direction générale du Trésor, France, d’après ONU et OCDE/ Club du Sahel et de l’Afrique de l’Ouest pour la colonne croissance démographique

Tableau 2 : évolution de la population rurale au Sahel

Année	pop totale	pop rurale	% pop rurale
1968	16,9	15	88,8
1980	29,1	24	82,5
2000	55	35,9	65,3
2010	72,5	44	60,7
2019	89	50,5	56,7
2050*	204	76,1	37,3

Le tableau 2 montre que la population rurale augmente fortement au Sahel, même si elle augmente moins vite que la population urbaine. On voit que la population rurale est plus de 3 fois plus élevée qu’en 1968, début de la sécheresse.

* projections

Pourtant, on observe aussi deux tendances lourdes :

- un reverdissement général et spontané du Sahel, comme si, 25 ans après le retour d’une pluviométrie « normale » (en quantité de pluie tombée mais leur intensité a crû sensiblement), la végétation parvenait à reprendre sa place et ses droits. Ce reverdissement est attesté surtout par télédétection. Cette tendance au reverdissement était due surtout aux herbacées de 1990 à 2010 ; depuis, elle est tirée par les arbres (qui mettent plus de temps à pousser, et donc à se voir depuis les satellites), et cela se remarque aussi bien dans les régions où aucune RNA (Régénération Naturelle Assistée) ou action d’ONG n’a été effective que là où elles ont agi. Elle est donc essentiellement spontanée ; les promoteurs de la méthode RNA montrent qu’elle est très efficace et qu’elle est à l’origine du reverdissement dans certaines régions (Larwanou et al., 2006 ; Reij et al ;2009), ce qui est très probable, même si cela crée des débats (Crawford et al., 2016). Mais la densité augmente à peu près partout ; le rapport PPN/P (productivité primaire nette/pluie – en anglais Rain Use Efficiency RUE) augmente aussi mais moins vite. Une synthèse des zones où la densité de végétation a le plus augmenté et là où elle a le plus diminué a été faite cartographiquement dans Descroix (2018) ;

- L'émergence d'agrosystèmes denses et pérennes est indéniable, et on voit s'étendre des agrosystèmes très arborés un peu partout au Sahel, souvent, mais pas exclusivement, dominés par un réseau de plus en plus dense de *Faidherbia albida*, un acacia (donc une légumineuse) qui est un peu l'arbre magique du Sahel, puisque, outre sa forte capacité à stocker l'azote de l'air dans les sols (ce qui les fertilise), sa phénologie décalée lui permet de créer un ombrage bienvenu durant la longue et chaude saison sèche, et de perdre ses feuilles durant l'hivernage, rendant l'agriculture possible sous sa couronne. De plus, ses branches et ses feuilles constituent un excellent fourrage. Les actions des ONG ont eu localement un impact très important sur ce reverdissement comme au Niger dans la région de Maradi, mais ces ONG ont surtout promu une pratique ancestrale, donc peut être qu'elles n'ont fait qu'accélérer une tendance positive lourde pré-existante. Au Sénégal, au cœur du bassin arachidier ou dans les rizières de la Casamance Nord, la présence des « cades » (*Faidherbia albida*) est ancestrale et tout est fait pour la conserver. C'est probablement aussi le cas ailleurs, même si les ONG ont joué un rôle indéniable dans la diffusion de cette pratique ancestrale issue des savoirs locaux.

On constate certes toujours des manifestations de la désertification, mais comme conséquences durables de l'épisode sec 1968-1993, avec (1) des zones où l'eau continue à ruisseler sur des sols encroûtés : ainsi sur certains plateaux cuirassés de l'auréole de déboisement autour de la ville de Niamey ; il s'agit de zones encore peu densément peuplées et qui sont surexploitées pour alimenter Niamey en charbon et en bois (98% des ménages cuisinent ensuite avec ces deux types de combustibles). On observe aussi (2) ces surfaces dégradées aux alentours de certains forages, du fait de la forte densité du bétail. Il s'agit aussi (3) des zones en cours d'abandon par la riziculture dans des zones pluvieuses, mais à longue saison sèche (8 mois) de Casamance et de Guinée Bissau, ou encore (4) des zones de « terres nouvelles » offertes aux arachidiculteurs sénégalais dans les années 1970 pour compenser les pertes de rendements en arachide liés à la baisse durable de la pluviométrie. Dans ces zones, qui portent entre 50 et 70 habitants au km², il n'y a plus d'arbre, alors que le cœur du bassin arachidier sénégalais, 50 ou 100 km plus au nord et plus à l'ouest, porte 250 à 400 hab/km² et constitue l'un des plus beaux parcs à acacias de la bande sahélienne, avec ceux du sud Zinder et du Sud Maradi au Niger, régions qui elles-mêmes portent des densités de populations bien plus fortes que les plateaux proches de Niamey.

Perception de la désertification et du reverdissement :

La désertification, et la « sahélistation » des zones soudaniennes, ont fait l'objet de nombreux travaux dès les années 1970-80 (Olivry, 1982 ; Pouyaud, 1987 ; Albergel et Valentin, 1988 ; Luxereau et Roussel, 1997) et elle a été vécue par les habitants comme une terrible fatalité conduisant à la perte de troupeaux et de récoltes. Quelle est la perception de ces tendances ?

a. Par la population ?:

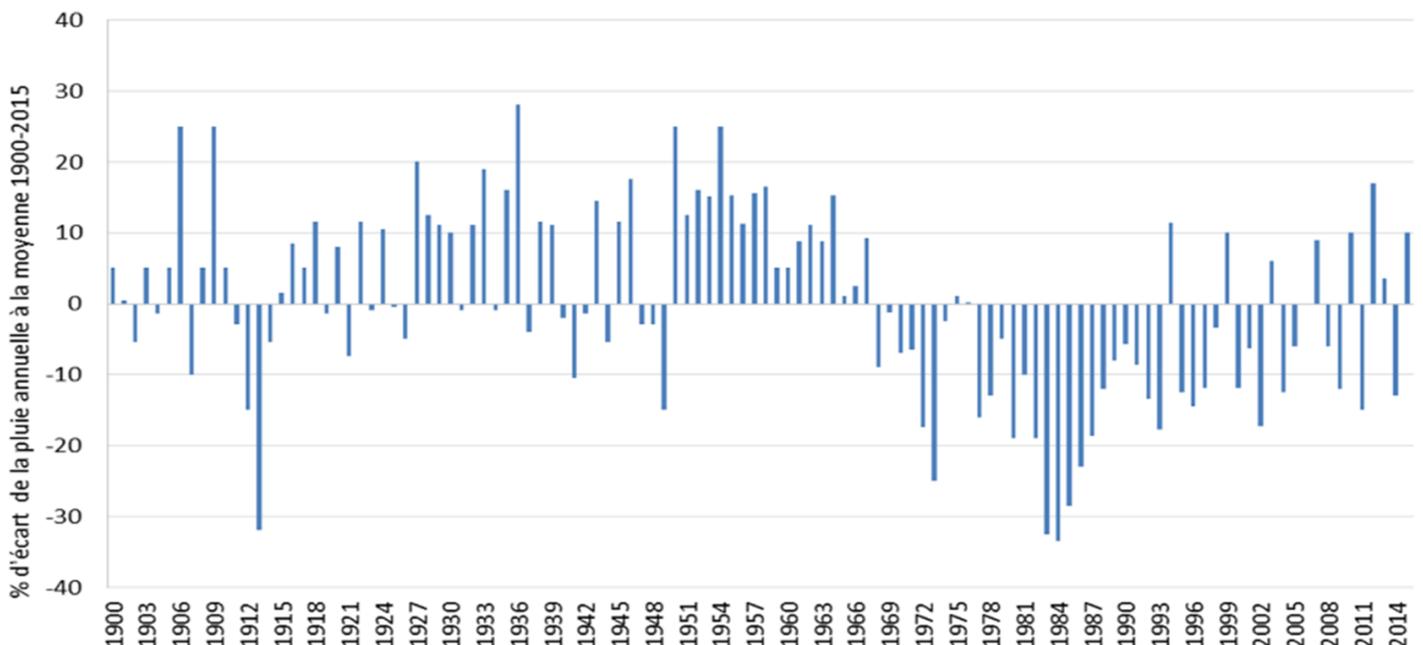
Des enquêtes restent à faire malgré les travaux de Luxereau et Roussel (1997), entre autres, sur le rôle de l'arbre. Le plus probable, c'est que le ressenti de la population est très connoté par la « pensée unique » dispensée par gouvernements et ONG, politiques locaux et animateurs des réseaux agricoles.

Cependant, on observe en général le ressenti d'un déséquilibre entre la population et les ressources, d'une « désertification » caractérisée par une diminution de la biomasse et des rendements agricoles.

b. Par les scientifiques ?

Dès le début de la sécheresse, la plupart des chercheurs ont constaté une diminution drastique, de la couverture végétale, liée à la sécheresse et à la nécessité pour les paysans d'accroître fortement les surfaces cultivées du fait de la chute des rendements occasionnée par la baisse des pluies. Cette diminution a été d'autant plus marquée en se dirigeant vers le nord et les zones les plus arides. C'est le cas aussi autour des trop rares points d'eau. Les sols mis à nu ont été fragilisés, érodés, emportés par l'érosion éolienne et l'érosion hydrique ; ce qui parfois est durable, c'est un encroûtement du sol qui empêche l'infiltration et continue à rendre le sol imperméable après la fin de la sécheresse.

Ce qui est aujourd'hui incontestable et ne fait désormais plus trop l'objet d'un débat, c'est le reverdissement du Sahel, confirmé d'année en année depuis les années 1990. Jusqu'au début des années 2000, la tendance était encore incertaine et les débats animés ; mais depuis 2005 environ, la tendance est confirmée d'année en année ; cette tendance est liée au retour des pluies annuelles autour de leur moyenne, mais doit aussi localement, beaucoup à des progrès de la gouvernance de la gestion des ressources naturelles. Elle laisse de côté certaines zones où les sols n'ont pas récupéré leur capacité de rétention en eau, comme le bassin du Niger Moyen (Descroix et al., 2012 ; Descroix et al., 2018) où se sont formées les écoulements ayant entraîné les crues noires puis rouges record de 2019 et 2020, ces dernières ayant eu des conséquences dramatiques sur la ville de Niamey (Tarchiani et al., sous presse). Par ailleurs, on sait aussi que le reverdissement est désormais lié à la progression des ligneux (Brandt et al., 2018, 2019, 2020).



la désertification des terres arides, et même le désert présente une densité d'arbres étonnamment élevée. (Brandt et al., 2020)

Figure 1 : évolution des pluies en % autour de leur moyenne de 1900 à 2015 (Descroix et al., 2018)

Du fait de la forte corrélation entre reverdissement et retour des pluies, les chercheurs ont dû faire appel à de nouveaux indices permettant de démontrer que les sols avaient pu également récupérer leur qualité structurelle et en particulier leur capacité de rétention en eau. Le rapport de la productivité primaire nette (PPN) sur la pluie (P), PPN/P, appelé RUE (Rain Use Efficiency) permet de mieux rendre compte de la conservation ou restauration des propriétés de la végétation et des sols dans les zones semi-arides. Fensholt et Rasmussen (2013) ont calculé et cartographié l'évolution de cet indice entre 1982 et 2010 sur le Sahel, montrant la robustesse de l'évolution positive. Pour obtenir une tendance encore moins discutable sur une tendance mesurée grâce à des données satellitaires, Dardel et al (2014), ont utilisé les résidus des régressions du rapport PPN/P. La linéarité du rapport PPN/P a été analysée et il a été montré qu'elle n'avait pas d'impact sur la RUE et l'interprétation des résidus. Dans certaines zones du Sahel, un accroissement des écoulements a été observé alors que les valeurs de RUE restaient stables. La divergence de ces deux indicateurs de résilience écosystémique (stabilité de la RUE) et de dégradation des sols (augmentation des écoulements) a été défini comme « le second paradoxe du Sahel » (Dardel et al., 2014 ; Descroix, 2018 ; Descroix et al., 2018). Dardel et al. (2014) ont montré que, dans le Gourma Malien, ce sont les zones de sols peu épais qui sont caractérisées par une végétation en déclin et un accroissement des écoulements.

Dans le même temps progresse aussi l'hypothèse optimiste d'une progression de la résilience des agrosystèmes. Cette hypothèse proche de la pensée boserupienne (Boserup, 1965) avance dans les milieux scientifiques, pas encore au niveau politique ou associatif, d'où le maintien d'un certain pessimisme dans les réseaux correspondants. La théorie de Boserup considère la croissance démographique comme une variable indépendante qui est un facteur majeur du développement agricole. Elle s'oppose donc au raisonnement malthusien selon lequel la fourniture d'aliments n'a aucune élasticité, ce qui en fait le facteur gouvernant la croissance démographique. Ceci implique que des densités de population plus élevées incitent spontanément à l'intensification des activités rurales.

De fait, la RNA dont on estime qu'elle est pratiquée par la moitié des paysans du Niger (Larwanou et al., 2006; WRI, 2008; Reij et al., 2009), et les actions des ONG n'ont fait qu'accélérer cette tendance naturelle, en fait pas si naturelle que cela, les paysans et acteurs du monde rural étant impliqués dans la formation et l'extension de ces savanes parcs, agrosystèmes remarquables et de plus en plus fréquents dans les secteurs les plus peuplés du Sahel. Cette extension des parcs à *Faidherbia albida* s'observe par exemple dans le sud des régions de Maradi et Zinder au Niger mais elle est ancienne dans la partie centrale du bassin arachidier sénégalais.

Enfin, on observe une extension d'autres types d'agrosystèmes très denses et très végétalisés :

- la mangrove ouest africaine (mais là, souvent, la population baisse) ;
- des zones de vergers (manguiers, agrumes, anacardiens, autres), dans les alentours de Niamey (Niger), au Nord du Bénin ou dans le Saloum au Sénégal ;

- les maraîchages par exemple dans les Niayes au Sénégal, autour de Niamey au Niger ou encore à l'extrême Nord du Bénin (pour le marché nigérian) ;
- les « tapades », jardins très intensifiés du Fouta Djallon (Guinée).

Cette intensification qui suit et accompagne la densification de la population et l'augmentation de la demande urbaine, obéit à une logique "boserupienne" (anti-malthusienne).

Renforcement des agrosystèmes : qu'en est-il de la production ?

Le retour des pluies durant les années 1990 s'est accompagné d'un retour à la variabilité interannuelle observée avant 1950 et les deux phases hyperhumide et très sèche, qui se sont succédé (Balme et al., 2005 et 2006). Tant pour l'agriculture que pour l'hydrologie, la structure de la saison des pluies en termes d'événements pluvieux est souvent plus critique que le simple cumul annuel » (Balme et al., 2006). Balme et al. (2005) avaient vu juste, en montrant qu' « au Sahel, la sécurité alimentaire d'une majorité de la population dépend de la culture de céréales vivrières comme le mil ou le sorgho » et que « L'accroissement démographique des 50 dernières années a entraîné une augmentation de la proportion des surfaces cultivées (champs, jachères, pâtures), menaçant l'espace exploitable de saturation. Cette proportion est passée de 30 % en 1950 à 80 % en 1992 dans la région de Niamey et de 28 % en 1961 à 46 % en 1996 sur toute la bande sahélienne (Guengant et Banoïn, 2003). Cette situation s'inscrit dans un environnement et un climat difficiles – sols peu fertiles, précipitations faibles et irrégulières, soumises à une grande variabilité spatio-temporelle ».

Ces auteurs concluaient sur la nécessité de mieux prévoir la date de démarrage de la saison des pluies (donc de mieux étudier et comprendre les mécanismes de la mousson, ce qui était un des justificatifs du programme AMMA qui commençait juste, en 2003 (Balme, 2005). Cette antienne et l'importance des dates de semis idéales sont reprises et revisitées plus récemment par Sultan (2012) et Sultan et al. (2015). Mais le bon sens paysan garde en général le dessus et c'est toujours la prudence qui guide l'agriculteur pour le choix des dates de semis. De fait, le producteur est toujours à la merci d'un « dry spell » précoce, et quoiqu'il en soit, il n'a pas la capacité de labourer (et semer) toutes leurs parcelles dans la période optimale.

Pourtant on constate que l'autosuffisance en céréale est assurée pour les grands pays sahéliens (figure 1), à l'exception de ceux où le riz est la principale céréale consommée (Sénégal, Gambie) ou des pays au climat saharien (Mauritanie, Cap Vert). Pour les trois pays sahéliens de l'intérieur, la toute petite part qui n'est pas fournie par l'agriculture locale est celle du riz, seule céréale pour laquelle ces pays ne sont pas autosuffisants. Le Mali, ayant fortement accru sa production de riz entre 2008 et 2016, est devenu autosuffisant et virtuellement exportateur. On note d'autres progressions intéressantes comme les rendements de toutes les céréales qui augmentent à peu près comme la population depuis la fin de la sécheresse en 1994, en particulier au Niger, où ces rendements étaient très bas et ont plus que doublé, passant de 350 kg/ha en 1995 (Guengant et Banoïn, 2003) à plus de 800 kg/ha ces dernières années (FAOSTAT, 2015).

En dehors des états sahariens , le Sénégal est le seul pays qui ne voit pas son autosuffisance progresser, du fait des difficultés multiples de la riziculture. En effet, le prix de revient y est bien plus élevé que celui du riz importé. La riziculture est aussi freinée par un défaut de drainage des rizières ; Cela provoque la destruction du système de cultures de décrue, très productif, remplacé par des rizières apportées ex nihilo, un surinvestissement (barrages, canaux) pour une production restant faible à cause de facteurs socio-économiques et culturels, du fait des prix (avantage comparatif des produits importés près des ports importateurs), et entre autres, du fait de la surreprésentation politique d'une caste d'importateurs. La Gambie a malheureusement suivi l'exemple sénégalais. La riziculture bissau-guinéenne est, elle, concurrencée sur place par la culture de l'anacardier, qui n'utilise pas les mêmes surfaces, mais monopolise la main d'œuvre. Le riz reste donc le « maillon faible » de la céréaliculture sahélienne, surtout dans les pays côtiers.

Auto suffisance céréalière

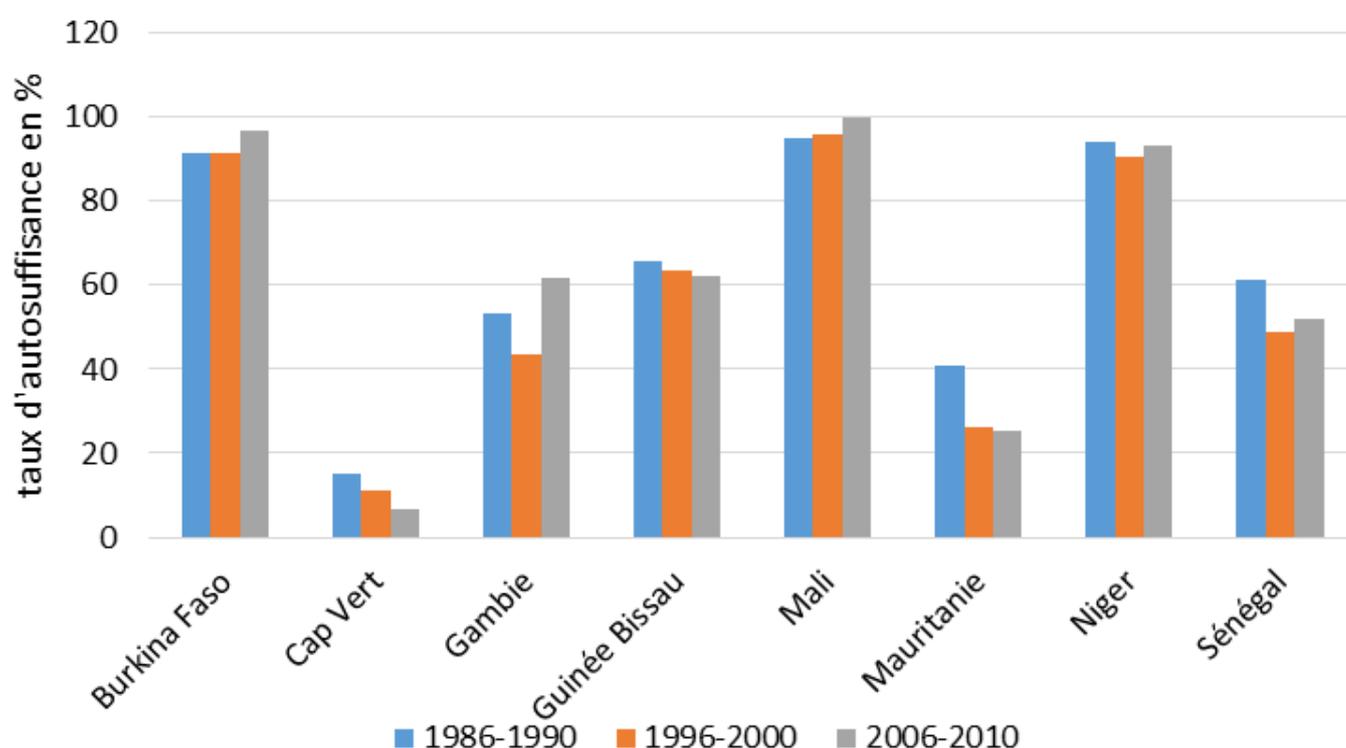


Figure 2 : Evolution de l'autosuffisance alimentaire : on voit clairement que les pays les moins extravertis sont autosuffisants sur la durée. source FAOSTAT 2015



Tableau 3. Evolution de la production céréalière des pays sahéliens. Source : Traoré, déc. 2020

Pays	Production prévue 2020-21	Evolution production 2015-2020 %	Production/capita prévue 2020-21	Evolution production/capita 2015-2020 %
Burkina Faso	5 331 073	+ 16,2	233	- 4
Cap Vert	3500	+ 11,6	1	- 85
Gambie	120 721	- 16,2	50	- 47
Guinée Bissau	257 504	+ 16,2	123	+ 4
Mali	10 233 207	+ 9,3	505	+ 32
Mauritanie	478 584	+ 33,2	112	- 44
Niger	5 312 500	- 6,7	216	+ 12
Sénégal	3 811 894	+ 53	214	+ 62
Tchad	2 911 863	+ 4,1	175	- 6
TOTAL SAHEL	28 460 747	+ 10,9	258	+ 5

De plus, la mondialisation/globalisation a des conséquences sur les productions régionales du fait des avantages comparatifs, ce qui pénalise certains produits locaux (riz surtout, mais aussi oignons, huile de palme, sucre, etc.).

Le réchauffement climatique aura un impact sur les productions agricoles

Etant donné que les pluies sont revenues à leur moyenne de long terme depuis les années 1990, et avec elle leur variabilité interannuelle, le principal facteur de la vulnérabilité climatique de l'agriculture sahélienne est à présent le réchauffement. L'Afrique de l'Ouest est une des régions où le réchauffement climatique est le plus rapide (+0.9°C entre 1970 et 2010 contre +0.7°C sur l'ensemble de la Planète). En particulier, Guichard et al. (2015) ont montré que les températures minimales ont bien plus augmenté que les maximales : elles ont augmenté de 3°C entre 1970 et 2010 pour les mois les plus chauds (de mars à juin) sur l'essentiel de la zone soudano-sahélienne. De plus, les vagues de chaleur vont devenir chaque année plus fréquentes (Ringard et al., 2016 ; Diedhiou et al., 2018).

Les projections montrent que du fait de l'augmentation de la dynamique atmosphérique, la mousson va devenir de plus en plus pluvieuse en Afrique de l'Ouest (Biasutti, 2013). Toutefois, cette auteure (confirmée par IPCC 2014) prévoit une déconnexion de la partie Ouest de l'Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mauritanie, Guinée Bissau, ouest du Mali), qui après 2035 pourrait connaître une baisse prononcée des précipitations ; le reste de l'Afrique de l'Ouest devrait voir se poursuivre cette hausse des pluies durant tout le 21e siècle.

Or, Sultan (in IPCC 2014) montre très bien (voir annexe 1) l'impact du réchauffement climatique sur les rendements. Cet auteur estime que la hausse de la température va plus que compenser l'augmentation attendue des pluies et que les rendements céréaliers vont baisser de 7% d'ici à 2050 (Sultan et al., 2015, page 220). Cette baisse sera encore plus marquée à l'Ouest du Sahel où la pluie devrait baisser à partir de 2030 ou 2035 (Sultan et al. , 2015, p. 221). Ces auteurs soulignent l'existence d'incertitudes statistiques dans leurs estimations, liées à de nombreux facteurs, mais ils concluent qu'il ne faut pas attendre plus de certitude pour l'heure « pour, d'ores et déjà, réfléchir à des

mesures d'adaptation qui soient à la fois scientifiquement pertinentes et socialement acceptables, le climat d'aujourd'hui ayant déjà un impact sur les ressources des populations rurales » (Sultan et al., 2015).

Ceci étant, une baisse de 7% est bien plus faible que le potentiel d'augmentation des rendements obtenus par des pratiques conservatoires de la fertilité des sols simples, telles qu'épandage de fumier (éventuellement d'engrais composés), de compost, paillage, sélection des meilleures semences, régénération des pousses de légumineuses, et en cas de dégradation des sols, zaï, cordons pierreux et autres dispositifs freinant l'écoulement et favorisant l'infiltration de l'eau.

Et elle est faible face au doublement des rendements de mil observés au Sahel intérieur (Mali, Burkina Faso et Niger) entre 2000 et 2019. On peut donc augurer que l'agriculteur sahélien pourrait très bien pallier cette perte de rendements en continuant d'adopter des méthodes d'intensification verte et vertueuse susceptibles de pérenniser des agrosystèmes productifs. Cette évolution a aussi l'avantage de produire une nette atténuation du réchauffement climatique, du fait d'une augmentation nette de l'évapotranspiration.

Au point que l'on peut dire que les villages de la bande soudano-sahéliens constituent depuis longtemps, grâce aux manguiers, neems, acacias, fromagers, caïlcédrats, nérés, karités, et autres arbres utiles, des « ilots de fraîcheur villageoise », quand les villes, en supprimant leurs arbres devant la spéculation foncière, renforcent leur « ilot de chaleur urbaine ».



Conclusion

On observe pour l'heure qu'en dépit des chocs climatiques passés (sécheresse) et des changements en cours, les pays du Sahel sont autosuffisants en céréales quand il n'y a pas de distorsion liée aux prix ou à des facteurs externes géopolitiques. En fait, si des recherches sur le terrain avaient ouvert le débat sur le reverdissement, il en est de même sur la résilience des agrosystèmes. Brandt et al. (2017) ont confirmé que l'agriculture et son extension au Sahel promouvaient aussi la foresterie et le reverdissement, contredisant ainsi l'idée reçue et commune de la corrélation négative entre densité de population et couvert forestier. Il y avait eu déjà au moins 25 références sérieuses entre 1998 et 2010, montrant le reverdissement du Sahel, avant qu'on ne le considère comme un élément évident.

Les progrès de la gouvernance de l'espace ont été bien sûr appuyés par le retour des pluies ; on ne peut que constater que les agrosystèmes sahéliens, qui récupèrent assez bien (sauf dans le moyen Bassin du fleuve Niger où la dégradation des sols semble toujours en cours*), ont subi un choc terrible dans les années 70 et 80, en pleine croissance démographique. Il faut tout faire pour que dans le futur, ces agrosystèmes soient résilients aux chocs attendus liés au réchauffement inéluctable de la température.

Concernant la résilience des agrosystèmes, les hypothèses boserupiennes (Boserup, 1965) montrant une meilleure résilience des agrosystèmes densément peuplés et occupés, ont trouvé leur application au Kenya (avec le fameux « More people, less erosion » de Tiffen et al., 1994), au Niger (Luxereau et Roussel, 1997), au Nord de la Côte d'Ivoire (Demont et Jouve, 2000), au Nord-Est du Nigeria (Mortimore et Adams, 2001), comme dans l'ensemble de la bande soudano-sahélienne (Descroix, 2018 ; Descroix et al., 2018). Ce point de vue est globalement en opposition avec la pensée plus commune d'une désertification généralisée liée au surpeuplement, mais à nuancer (Burger et Zaal Eds, 2009).

Boserup a observé plus tard (Boserup, 1981) que l'intensification en était à ses balbutiements en Afrique, mais cela a évolué depuis (Tiffen et al. 1994 ; Luxereau et Roussel, 1997 ; Demont et Jouve, 2001 ; Mortimore et Adams., 2001 ; André et Pestaña, 2002, entre autres), avec la fin du long épisode sec du Sahel et l'accentuation de la croissance démographique qui a accompagné et autorisé des évolutions vertueuses, vers le jardinage (vergers, maraîchages) et la petite irrigation. En cela, les communautés rurales, parfois appuyées par des stratégies liées à des migrations (recherche d'emplois saisonniers de contre saison, apports de migrants installés les plus souvent dans les grandes villes, plus rarement en Europe) ont le plus souvent devancé les politiques publiques et même les grands programmes internationaux (barrages, périmètres, canaux, grande muraille verte, etc) qui tardent le plus souvent à avoir un effet positif sur le bien être des communautés dont elles visent à améliorer les conditions d'existence (Verburg et al.).

Cette intensification vertueuse n'est pas assez étudiée, et mérite qu'on y consacre des recherches sérieuses sur l'ensemble de la zone sahélienne, pour en connaître l'envergure véritable, et l'influence du climat, des populations (et de la démographie) et des politiques publiques. La population semble, définitivement, la meilleure arme de résilience des agrosystèmes ; ce sont les Hommes qui plantent et conservent les arbres ; plus que jamais, ce sont eux qui ont dans leurs mains l'arme essentielle de lutte contre le réchauffement climatique.

**Difficile de s'en assurer autrement que par imagerie satellitaire, c'est la zone des trois frontières (Mali-Burkina Faso-Niger) où l'insécurité rend les travaux de recherche impossible*

Références citées

- Ali, A. and Lebel, T. (2009) The Sahelian standardized rainfall index revisited. *Int.J. Climatol.*, 29, 1705-1714.doi: 10.1002/joc.1832.
- Albergel, J. (1987). Sécheresse, désertification et ressources en eau de surface : application aux petits bassins du Burkina Faso. In *The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources*; IAHS publication N° 168, Wallingford, UK; pp. 355-365.
- Albergel, J. et Valentin, C. (1988). « Sahélisation » d'un petit bassin versant soudanien : Kognéré-Boulsa au Burkina Faso. In : Bret, B., Ed. *Les hommes face aux sécheresses, Nordeste brésilien-Sahel Africain*. Paris : EST/IHEAL, coll. Travaux et Mémoires, 42 : 179-191.
- Ambouta, J.M.K., Valentin, C. et Laverdière, M.R. (1996). Jachères et croûtes d'érosion au Sahel ; *Sécheresse*, 7 : 269-275.
- Anchang, J.Y., Prihodko, L., Kaptué, A.T., Ross, C.W., Ji, W., Kumar, S.S., Lind, B., Sarr, M.A., Diouf, A.A., Hanan, N.P. (2019). Trends in Woody and Herbaceous Vegetation in the Savannas of West Africa. *Remote Sens. MDPI* 2019, 11, 576; doi:10.3390/rs11050576
- André, V. and Pestaña, G. (2002). Les visages du Fouta-Djalon. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 217: <http://com.revues.org/index1038.html>
- Balme, M., Galle, S. & Lebel, T. (2005) Démarrage de la saison des pluies au Sahel : variabilité aux échelles hydrologique et agronomique, analyse à partir des données EPSAT-Niger. *Sécheresse* 16 (1), 15–22.
- Balme, M., Lebel, T. Amani, A. (2006). Années sèches et années humides au Sahel : quo vadimus ? *Hydrological Sciences – Journal–des Sciences Hydrologiques*, 51 (2), 254-271.
- Biasutti, M. (2013). Forced Sahel rainfall trends in the CMIP5 archive. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118: 1613–1623. doi:10.1002/jgrd.50206, 2013.
- Boserup, E. (1965). *The Conditions of Agricultural Growth: The Economics of Agrarian Change under Population Pressure*, Allen and Unwin, London (Republished 1993: Earthscan Publications, London).
- Boserup, E. 1981. *Population and Technological Change: A Study of Long Term Trends*. University of Chicago Press, Chicago, USA.
- Brandt, M.; Rasmussen, K.; Peñuelas, J.; Tian, F.; Schurgers, G.; Verger, A.; Mertz, O.; Palmer, J.R.B.; Fensholt, R. (2017). Human population growth offsets the climate-driven increase in woody vegetation in sub-Saharan Africa. *Nature Ecology and Evolution*, 1, 0081, | DOI: 10.1038/s41559-017-0081
- Brandt, M., Wigneron, J-P., Chave, J., Tagesson, T., Peñuelas, J., Ciais, P., Rasmussen, K., Tian, F., Mbow, C., Al-Yaari, A., Rodriguez-Fernandez, N. Schurgers, G., Zhang, W., Chang, J., Kerr, Y., Verger, A., Tucker, C.J., Mialon, A., Vang Rasmussen, L., Fan, L., Fensholt, R. (2018). Satellite passive microwaves reveal recent climate-induced carbon losses in African drylands. *Nature Ecology & Evolution* | <https://doi.org/10.1038/s41559-018-0530-6>

Brandt, M., Hiernaux, P., Rasmussen, K., Tucker, C.J., Wigneron, J-P., Diouf, A.A., Herrmann, S.M., Zhang, W., Kergoat, L., Mbow, C., Abel, C., Auda, Y., Fensholt, R. (2019). Changes in rainfall distribution promote woody foliage production in the Sahel. *Communications Biology* <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0383-9>

Brandt, M., C.J. Tucker, A. Kariryaa, K. Rasmussen, C. Abel, J.L. Small, J. Chave, L.V. Rasmussen, P. Hiernaux, A.A. Diouf, L. Kergoat, O. Mertz, C. Igel, F. Gieseke, J. Schöning, S. Li, K.A. Melocik, J.R. Meyer, S. Sinno, E. Romero, E.N. Glennie, A. Montagu, M. Dendoncker, and R. Fensholt. 2020. An Unexpectedly Large Count of Trees in the West African Sahara and the Sahel. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1832>

Burger, K., et Zaal, F., Eds. (2009). *Sustainable land management in the Tropics: Explaining the Miracle*. Aldershot, Hants, UK: Ashgate Publishing Ltd, 226 p. ISBN 978 0 7546 4455 2.

Casenave A, Valentin C. (1992). A runoff capability classification system based on surface feature criteria in semiarid areas of West Africa. *J. Hydrol*, 130: 231 -49.

Crawford, A., Shteir, S., and Rojas Chaves, D. (2016). *Farmer Managed Natural Regeneration Evidence Gap Analysis*. World Vision Australia internal document, 69 p.

Dardel, C., Kergoat, L., Hiernaux, P. Grippa, M., Mougin, E., Ciais, P. et Nguyen, C-C. (2014). Rain-Use-Efficiency: What it tells us about the Conflicting Sahel Greening and Sahelian Paradox Remote Sens. 2014, 6, 3446-3474; doi:10.3390/rs6043446.

Demont, M. and Jouve, P. (2000). Evolution d'agro-systèmes villageois dans la région de Korhogo (Nord Côte d'Ivoire): Boserup vs Malthus, opposition ou complémentarité ? *Dynamiques agraires et construction sociale du territoire*. Séminaire CNEARC-UTM, Montpellier, France, pp. 93–108.

Descroix, L., Genthon, P., Amogu, O., Rajot, J-L., Sighomnou, D., Vauclin, M. (2012). Change in Sahelian Rivers hydrograph: The case of recent red floods of the Niger River in the Niamey region. *Global Planetary Change*, 98-99, 18-30. [doi:10.1016/j.gloplacha.2012.07.009](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.07.009).

Descroix, L.; Diongue Niang, A.; Panthou, G.; Bodian, A.; Sané, T.; Dacosta, H.; Malam Abdou, M.; Vandervaere, J.-P.; Quantin, G. (2015) Evolution Récente de la Mousson en Afrique de l'Ouest à Travers Deux Fenêtres (Sénégal et Bassin du Niger Moyen). *Climatologie*, 12, 25–43.

Descroix, L.; Guichard, F.; Grippa, M.; Lambert, L.A.; Panthou, G.; Gal, L.; Dardel, C.; Quantin, G.; Kergoat, L.; Bouaïta, Y.; et al. (2018). Evolution of surface hydrology in the Sahelo-Sudanian stripe: An updated synthesis. *Water*, 10, 748.

Descroix, L. (2018). *Processus et enjeux d'eau en Afrique de l'Ouest Sahélo-Soudanienne*. Editions des archives contemporaines, France, ISBN : 9782813003140, 320p., doi : 10.17184/eac.9782813003140.

Diedhiou, A.; Bichet, A.; Wartenburger, R.; Seneviratne, S.I.; Rowell, D.P.; Sylla, M.B.; Diallo, I.; Todzo, S.; Toure, N.E.; Camara, M.; Ngatchah, B.N.; Kane, N.A.; Tall, L.; Affholder, F. 2018. Changes in climate extremes over West and Central Africa at 1.5 ° C and 2 ° C global warming. *Environ. Res. Lett.* 13 065020.

Fensholt, R. & Rasmussen, K. (2011). Analysis of trends in the Sahelian 'rain-use efficiency' using GIMMS NDVI, RFE, and GPCP rainfall data. *Remote Sensing of Environment* 115, 438-451.

Fensholt, R., Rasmussen, K., Kaspersen, P., Huber, S., Horion, S., Swinnen, E., (2013). Assessing Land Degradation/Recovery in the African Sahel from Long-Term Earth Observation Based Primary Productivity and Precipitation Relationships. *Remote Sens.*, 5, 664-686; doi:10.3390/rs5020664 ISSN 2072-4292.

Guengant, J-P., Banoïn, M. (2003). Dynamique des populations, disponibilités en terres et adaptation des régimes fonciers : le Niger. Pub. FAO-CICRED, 142 p.

Guichard, F., Kergoat, L., Hourdin, F., Léauthaud, C., Barbier, G., Mougïn, E. et Diarra, B. (2015). Le réchauffement climatique observé depuis 1950 au Sahel. In Sultan, B., Lalou, R., Sanni, M.A., Oumarou, A. et Soumaré, M.A. (Eds) « Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest ». Ed. IRD, pp. 23-42.

IPCC (2014). *Climate Change Synthesis report*. 167 p.

Larwanou, M., Abdoulaye, M., Reij, C. (2006). Etude de la régénération naturelle assistée dans la région de Zinder (Niger). International Resources Group, USAID : Washington, DC, USA.

Leblanc, M., Favreau, G., Massuel, S., Tweed, S., Loireau, M., Cappelaere, B. (2008). Land clearance and hydrological change in the Sahel: SW Niger. *Glo Pla Cha*, 61, 49-62.

Luxereau, A. and Roussel, B. (1997). Changements écologiques et sociaux au Niger. *Etudes africaines*, L'Harmattan Ed, Paris, 239 p.

Mahé, G., Lienou, G., Descroix, L., Bamba, L., Paturel, J-E., Laraque, A., Meddi, M., Habaieb, M., Adeaga, O., Dieulin, C., Chahnez Kotti, F., and Khomsi, K. (2013). The rivers of Africa: witness of climate change and human impact on the environment; *Hydrol. Process.* 27, 2105–2114 (2013) DOI: 10.1002/hyp.9813.

Mortimore, M.J. and Adams, W.M. (2001). Farmer adaptation, change and 'crisis' in the Sahel. *Global Environmental Change*, 11, 49-57

Nicholson, S.E. (2013). The West African Sahel: A review of recent studies on the rainfall regime and its interannual variability. Hindawi Publishing Corporation *ISRN Meteorology*, Article ID 453521, 32 pages, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/453521>.

OCDE/Club du Sahel (2007). L'Afrique de l'Ouest : Une région en mouvement Une région en mutation Une région en voie d'intégration, document de travail n° 1, 66 pages

Olivry, Jean-Claude (1982). Le point en 1982 sur l'évolution de la sécheresse en Sénégal et aux îles du Cap Vert. P.35 Rapport Orstom, éditions de l'Orstom, Dakar, 46 p. Panthou, G.; Vischel, T.; Lebel, T. (2014). Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel. *Int. J. Climatol.*, 34, 3998–4006.

Pouyaud, B. (1987). Variabilité spatiale et temporelle des bilans hydriques de quelques bassins versants d'Afrique de l'ouest en liaison avec les changements climatiques. The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrological Regime and Water Resources. Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987. IAHS Publ. no. 168.

Reij, C.; Tappan, G.; Smale, M. (2009). Agroenvironmental Transformation in the Sahel, Another Kind of "Green Revolution"; IFPRI Discussion Paper 00914, 2020 vision initiative; IFPRI Pub, Washington, the USA.

Ringard, J., Dieppois B., Rome, S., Diedhiou, A., Pellarin, T., Konaré, A., Diawara, A., Konaté, D., Dje, B.K., Katiellou, G.L., Seidou Sanda, I., Hassane, B., Vischel, T., Garuma, G.F., Mengistu, G., Camara, M., Diongue, A., Gaye, A.T., Descroix, L. (2016). The intensification of thermal extremes in West Africa. *Global and Planetary Change*, 139, 66-77.

Sultan, B. (2012). Global warming threatens agricultural productivity in Africa and South Asia. *Environ. Res. Lett.*, 7, 041001.

Sultan, B., Lalou, R., Sanni, M.A., Oumarou, A. et Soumaré, M.A. (Eds) (2015). « Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest » Ed IRD, 460 pages.

Tiffen, M.; Mortimore, M.; Gichuki, F. (1994). *More People, Less Erosion: Environmental Recovery in Kenya*. John Wiley & Sons, London. 311 pp.

Traoré, M. (2020). 2020/2021 season provisional figures and the regional market situation. Réseau de prévention des crises alimentaires (RPCA), CILSS, 36th RPCA annual meeting, 07/12/2020

Valentin, C. et Bresson, L-M. (1992). Morphology, genesis, and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma*, 55, 225-245.

P.H. Verburg, G. Metternicht, C. Allen, N. Debonne, M. Akhtar-Schuster, M. Inácio da Cunha, Z. Karim, A. Pilon, O. Raja, M. Sánchez Santivañez, and A. Şenyaz. 2019. Creating an Enabling Environment for Land Degradation Neutrality and its Potential Contribution to Enhancing Well-being, Livelihoods and the Environment. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany.

WRI. 2008. "Chapter 3: Roots to Resilience: Case Studies". In: *Roots of Resilience; Growing the Wealth of the Poor*. Washington: World Resources Institute (WRI). ISBN 978-1-56973-600-5. pp. 142–157.
<https://archive.org/details/worldresources2000unit/page/142/mode/2up>

Annexe 1: impact du réchauffement climatique sur les rendements céréaliers en AO par Sultan (in IPCC, 2014)

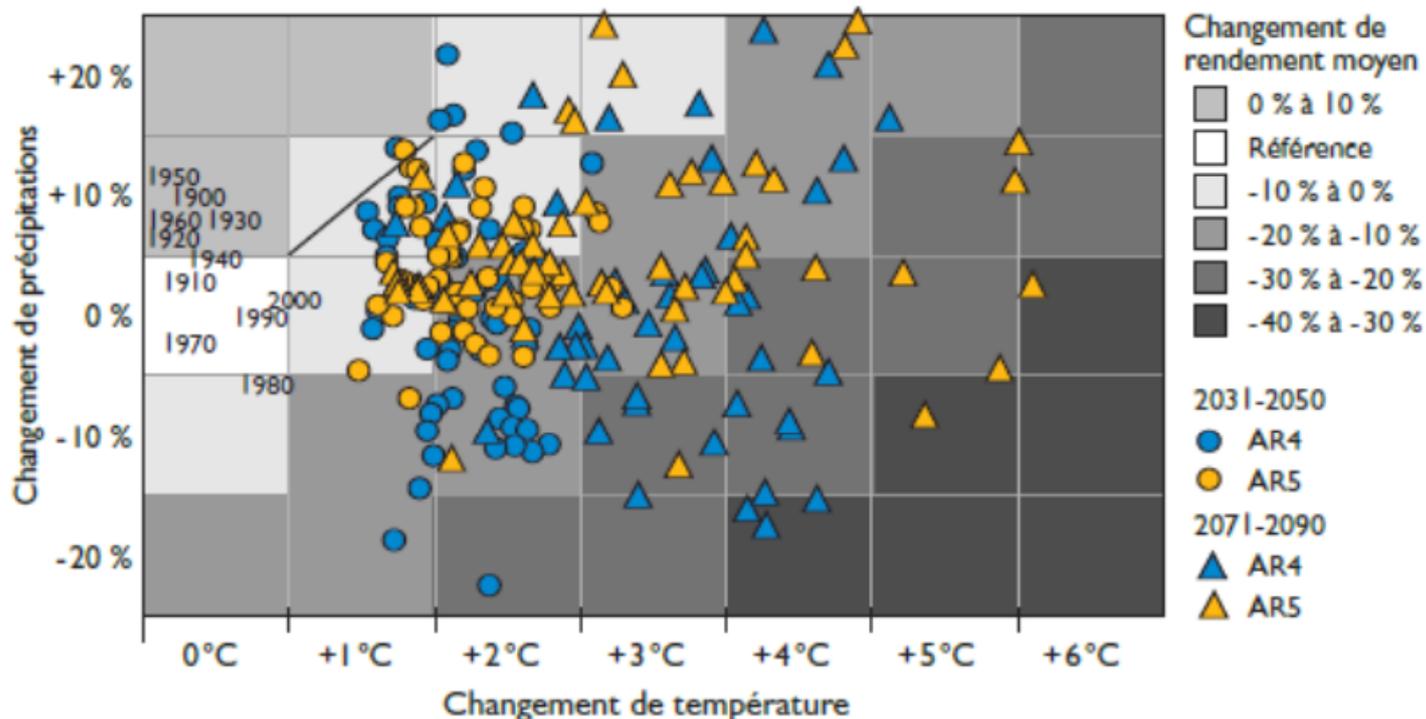


Figure 3.

L'effet des changements de températures et de précipitations sur le rendement moyen. Changement relatif de rendement (%) par rapport à la période de référence 1961-1990 pour 7 scénarios de températures (abscisses) et 5 scénarios de pluies (ordonnées).

Les résultats sont montrés en moyenne pour 35 stations d'Afrique de l'Ouest et 6 variétés de sorgho et de mil.

Les triangles et cercles bleus représentent les changements futurs projetés par plusieurs GCM de CMIP3 (AR4 sur la figure) et trois scénarios du Giec (B1, A1B, A2) respectivement pour les périodes 2071-2090 et 2031-2050.

Les projections des modèles de CMIP5 (AR5 sur la figure) et de trois scénarios rcp (4.5, 6.0 et 8.5) sont représentées par des triangles et des cercles orange.

Les anomalies de températures et de précipitations observées depuis le début du siècle à partir des données CRU sont aussi projetées par décades (« 1940 » sur le graphique signifie l'anomalie 1941-1950 par rapport à 1961-1990).

Tous les changements de rendements sont significatifs au niveau de confiance 5 %, sauf la case marquée d'une diagonale.

Source : IPCC (2014)



Nations Unies
Convention sur la lutte
contre la désertification