Chapitre 6

Le changement climatique : un retour des pluies

« Eh, les jeunes, vous savez, la pluie, ça tombe pas du tout comme ça ! »

(Un paysan de Thyssé Kaymor, au Sénégal,
devant un simulateur de pluie, 1998)

La pluviométrie n'est certes pas aussi diverse que peuvent l'être les chemins de l'eau et les voies empruntées par celle-ci pour, un jour, rejoindre la mer... Cependant, si la répartition géographique des hauteurs de pluie en Afrique de l'Ouest est assez simple à décrire et à expliquer, pour peu que l'on en reste à l'échelle pluri-décennale (voir figure 1 plus bas), la pluviométrie fait tout de même l'objet d'une très grande variabilité spatiale et temporelle dès que l'on descend à l'échelle de l'évènement, de la saison (ici la mousson ouest-africaine), donc de l'année. La pluviométrie en Afrique de l'Ouest est dictée par le déplacement de la Zone de Convergence Inter-Tropicale (ZCIT) qui permet l'arrivée sur les côtes nord du Golfe de Guinée de masses d'air ayant traversé tout l'Atlantique Sud et arrivant chargées d'humidité sur le continent. Après avoir croisé l'Équateur, ces masses d'air sont déviées vers leur droite (vers le Nord-Est) par la force de Coriolis, ce qui leur donne droit au nom de mousson (Leroux, 1983 ; livre blanc AMMA, 2002).

1 Le plus grand signal de changement climatique jamais enregistré ?

Comme on l'a évoqué ci-dessus, la figure 90 (L'Hôte et Mahé, 1996) montre bien la zonalité de la distribution des pluies annuelles moyennes sur la partie ouest de l'Afrique sub-saharienne. L'arrivée des masses d'air se fait par le sud et la quantité d'eau tombée va en diminuant vers le Nord ; aux latitudes sahéliennes, on dit souvent qu'on perd un mm de pluie annuelle moyenne chaque fois que l'on franchit un km vers le Nord. Le dessin des isohyètes montre sans ambiguïté comment un vent humide de secteur Sud-Ouest arrose bien plus abondamment les littoraux exposés au Sud-Ouest (côte de la Guinée Bissau, de la Guinée, de la Sierra Leone et du Liberia, Est de la Côte d'Ivoire et région de Cape Coast au Ghana, delta du Niger et surtout le « cul

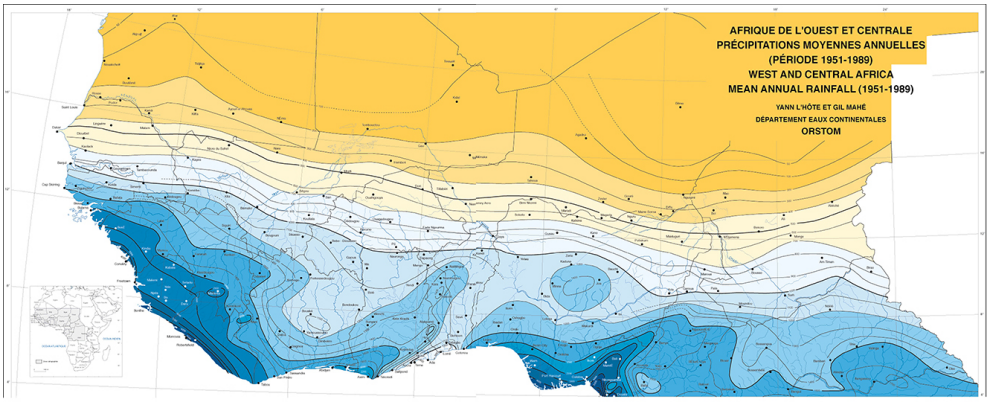


FIGURE 90 – Carte de la pluviométrie de l'Afrique de l'Ouest (1951-1989) ; la période considérée s'étend sur une égale longueur sur la période humide 1950-1970 et sur la période sèche qui lui a succédé (L'Hôte et Mahé, 1996)

de sac » du coin formé par le Golfe de Guinée au Cameroun, où les masses d'air sont piégées, en plus de la forme du continent, par les reliefs importants du Mont Cameroun (plus de 4 000 m) et des hauts plateaux camerounais (mais plus de 10 000 mm de pluie annuelle tombent sur le piedmont du mont Cameroun, à Debundscha).

Or, l'Afrique de l'Ouest (et non pas seulement le Sahel, comme on le pense souvent) a connu un très fort, très long et très étendu épisode de déficit pluviométrique après 1968. Un déficit de 20 à 30 % pendant plus de 25 ans et sur plus de 5 millions de km^2, cela constitue comme on l'a vu d'après Hulme (2001) et Hulme *et al.* (2001), le plus fort signal du changement climatique jamais enregistré.

Si la baisse de la pluie est générale dans toute l'Afrique de l'Ouest entre la période postérieure à 1968 et les années précédentes, elle est bien plus prononcée au Sahel (nord de la carte et de l'Afrique sub-saharienne) ; c'est effectivement le Sahel et le domaine nord –sahélien en particulier, qui a le plus souffert de ce déficit. Comme le montre la figure 91, la diminution est de l'ordre de 10-15 % dans les zones proches du littoral du golfe de Guinée, et on atteint des déficits de l'ordre de 30 à 40 % aux franges du Sahara. Ce qui n'apparaît pas sur cette figure, c'est l'accentuation de l'aridité relative du littoral nord sénégalais, les stations synoptiques de la région ayant enregistré les plus forts déficits étant Saint Louis (-48 %), Louga (-46 %) et Dakar (-44 %).

L'évolution temporelle depuis le début du XX^e siècle est ponctuée de sécheresses et de phases humides. On peut voir cette évolution sur la figure 92, qui montre l'évolution de la pluviométrie moyenne sur le bassin du Niger à Niamey, qui occupe une grosse moitié centrale de la bande soudano-sahélienne, depuis le début du XX^e siècle.

Cependant, dans tout le Sahel et la zone soudanienne, on entend encore des acteurs locaux ne percevant pas de retour à des niveaux de cumuls pluviométriques meilleurs. On entend ainsi très souvent des agriculteurs, des techniciens agricoles, des agronomes, des responsables politiques, des chefs de village, évoquer la sécheresse ou le

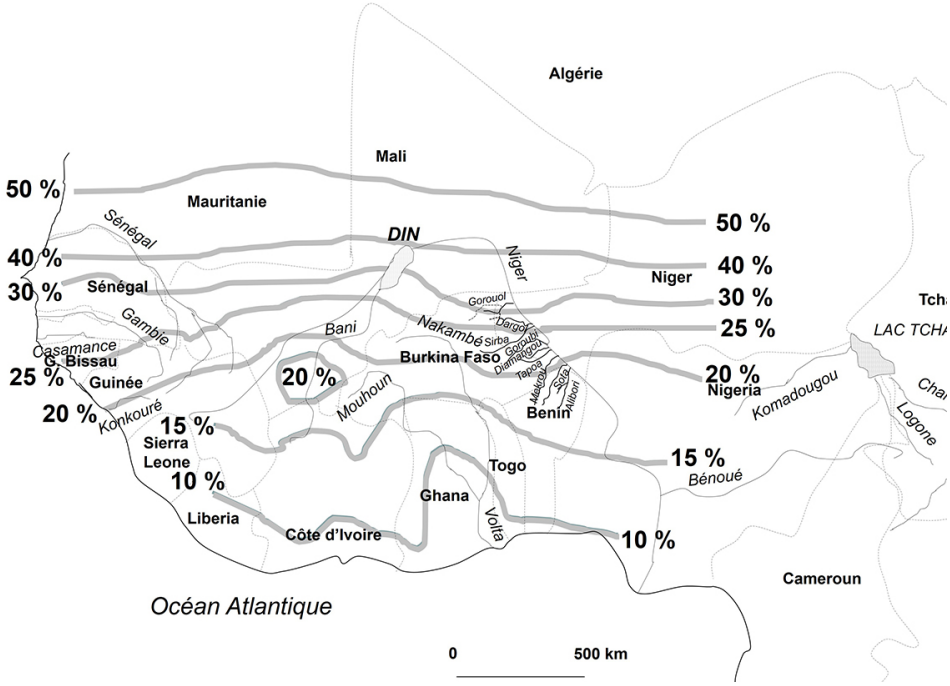


Figure 91 – Pourcentage de diminution de la pluviométrie entre la période 1950-1967 et la période 1968-1995 (*in* Lebel *et al.*, 2003)

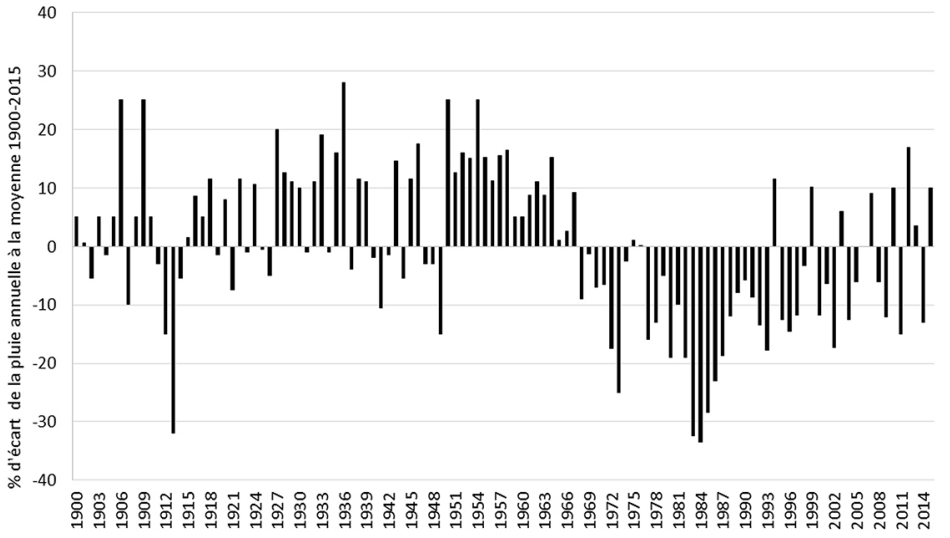


Figure 92 – Variation de la pluie annuelle en % autour de la moyenne sur le bassin du Niger à Niamey de 1900 à 2015

déficit pluviométrique persistent pour expliquer les mauvais rendements ou la mauvaise situation économique, la déforestation ou la dégradation environnementale. Ce discours est même parfois repris par les chercheurs, alors que cela fait pratiquement vingt ans que l'ensemble de la sous-région connaît un retour des totaux pluviométriques annuels à des valeurs moyennes : celui-ci est avéré dès 1993 dans le bassin du Niger Moyen (Descroix *et al.*, 2013) et dès 1998 au Sénégal (Bodian, 2014) où cette reprise est plus franche dans les zones soudaniennes, les postes sahéliens ne connaissant de reprise que durant la décennie 2001-2010 (Descroix *et al.*, 2015a). De fait, bien plus souvent, on entend les agriculteurs sahéliens répéter que les pluies sont certes un peu meilleures qu'auparavant, mais qu'on est encore loin des conditions d'avant la sécheresse. Il est probable que les personnes susceptibles de se souvenir des conditions prévalant avant 1968 sont encore nombreuses, qui considèrent comme « normales » ces conditions-là ; par contre, les personnes se souvenant de la situation d'avant les années humides 1951-1968 sont celles qui ont aujourd'hui plus de 75, voire 80 ans ; des personnes de cet âge-là sont en très petit nombre dans les villages de la bande soudano-sahélienne. Or c'est probablement plutôt ce niveau-là de pluviométrie qu'il faut attendre comme moyenne sur le long terme, et intégrer le fait que les deux décennies d'avant la sécheresse (en fait, les années 1951-1967) ont été très excédentaires, et ne reflétaient pas une tendance durable ; il est même probable que des activités et cultures de type soudanien se sont étendues dans le sud des espaces sahéliens durant ces années-là, se trouvant alors très fragilisées dès que la pluviométrie s'est effondrée après 1967.

La variabilité inter annuelle des précipitations au Sahel est relativement forte. Le coefficient de variation CV des pluies annuelles y est compris entre 0,25 et 0,4 ; mais il est modéré par rapport à celui d'autres zones tropicales sèches de la Planète : CV compris entre 0,35 à 0,5 au Nord Mexique ou en Australie, 0,5 à 0,6 au Nordeste brésilien, voire plus dans les zones arides de la façade pacifique de l'Amérique du Sud touchées une année sur 5 ou 7 par El Niño (Nouvelot et Descroix, 1996).

L'extension vers le nord du bassin arachidier sénégalais à la fin des années 1990 (Fall, 2014), lorsque les isohyètes sont remontés vers le nord, tendrait à montrer que l'agriculteur sahélien s'adapte vite et sait profiter des opportunités climatiques, même si dans ce cas, cette extension s'est faite au détriment des pâturages des populations nomades du Ferlo et alors que la filière arachidière était en plein démantèlement pour cause de coupes dans les subventions après l'adoption, au début des années 1990, des « plans d'ajustement structurels » (PAS).

D'un point de vue hydrologique, en dehors de la diminution de la capacité de rétention en eau des sols, qu'on ne traitera pas ici, c'est le total pluviométrique de l'année et le nombre d'évènements de fort cumul, susceptibles d'entraîner de forts coefficients de ruissellement, qui sont les variables explicatives les plus déterminantes (Olivry, 2002 ; Mahé *et al.*, 2011 et 2013 ; Descroix *et al.*, 2012 ; Panthou *et al.*, 2013 et 2014 ; Vischel *et al.*, 2015).

Tant pour l'agriculture que pour l'hydrologie, la structure de la saison des pluies en terme d'événements pluvieux est souvent plus critique que le simple cumul annuel (Balme *et al.*, 2006). Au niveau agronomique et agro-climatique, les variables les plus

importantes sont les dates de début et fin de la saison des pluies (Balme *et al.*, 2005 ; Balme *et al.*, 2006) ainsi que la durée de celle-ci. « *La connaissance de la date de démarrage de la saison des pluies ne renseigne en rien sur le cumul pluviométrique à venir ; en revanche, elle permet de prévoir la longueur de la saison des pluies, la fin de celle-ci étant moins variable* » (Balme *et al.*, 2005). La saison des pluies est de plus en plus courte et tardive en allant vers le Nord et vers l'Atlantique (Marteau *et al.*, 2009) ; si l'on se réfère aux critères déterminés par Sivakumar (1988), il est ainsi assez aisé de déterminer les saisons dont la répartition et les valeurs de pluie conduisent à de bonnes ou mauvaises conditions agronomiques ; l'apparition de *dry spells* est aussi mise en exergue (Janicot et Sultan, 2001 ; Marteau *et al.*, 2011). La date de début « agronomique » de la mousson est, quant à elle, très liée au « saut de mousson », rapide déplacement vers le nord de la Zone de Convergence Inter-Tropicale qu'on observe fin juin en général (Sultan et Janicot, 2000) ; au niveau agronomique, la date idéale de semis pour le mil est très proche de celle de ce « saut de mousson » (Sultan *et al.*, 2005). « *Concernant le lien entre démarrage agronomique et "saut" de mousson, on pourrait imaginer une stratégie simple de semis lors du "saut" de mousson* » (Balme *et al.*, 2005). On ne s'étendra pas, dans cette étude, sur le rôle des températures et du réchauffement global dans l'évolution des rendements et de la production agricoles mais il est certain que ce rôle est majeur (Sultan, 2012). De fait, les projections issues de modèles climatiques prévoient toutes des diminutions de rendements culturaux (de l'ordre de 11 à 18 %) en Afrique de l'Ouest principalement du fait du réchauffement (Roudier *et al.*, 2011), de l'accroissement de la transpiration et la baisse de la teneur en eau des sols (Léauthaud *et al.*, 2015) ; ces derniers auteurs concluent sur l'intérêt de mieux prendre en compte les évènements pluvieux extrêmes.

Quoiqu'il en soit, le lien entre la date et la durée de la mousson et les rendements agricoles est très fort, et permet à Balme *et al.* (2005) de conclure :

> « En termes d'applications agronomiques, la possibilité de prévoir la longueur de la saison des pluies peut aider les agriculteurs dans le choix des variétés à semer pour minimiser les risques, par exemple en choisissant un mil à cycle plus court si la saison a démarré tardivement ».

Afin de mieux comprendre les caractéristiques de cette évolution des pluies, on se propose de se pencher sur deux fenêtres de dimensions similaires : la Sénégambie et le bassin du Niger Moyen, soit deux ensembles d'environ 200 000 km^2 situés, l'un sur le littoral ouest africain, l'autre à l'intérieur du Sahel (figure 93). Les deux fenêtres sont situées *grosso modo* à la même latitude, celle du littoral légèrement plus au nord (12°-16°30'N, 11°30'-17°O) que celle du bassin moyen du fleuve Niger (11°-15°30'N, 2°30'E-3°O). Cependant, du fait du dessin régional des isohyètes, la fenêtre sénégalaise reçoit plus d'eau que la fenêtre intérieure ; elle a aussi une plus grande variabilité nord-sud du fait d'un net rapprochement des isohyètes à l'approche de l'océan Atlantique.

Dans chacune de ces « fenêtres », les données d'une douzaine de stations pluviométriques ont été utilisées ; elles ont été fournies ou achetées auprès des Directions Nationales de la Météorologie (DMN) du Sénégal, du Burkina Faso, du Mali et du Niger. Le nombre de stations (une douzaine par région) est le nombre qui nous a paru

le minimum pour avoir une bonne représentativité de chacune de ces régions ; il s'agit de stations ayant des séries ininterrompues depuis 1950 en pluviométrie journalière. Les stations ne comportent donc aucune lacune indiquée pour la période 1951-2017. Cette étude se concentre sur ces deux seules fenêtres pour une raison de coût. Le coût parfois élevé de ces données est une conséquence des PAS (« plans d'ajustement structurels ») imposés aux pays du Sud par le FMI et les pays du Nord au début des années 1990. Depuis ces PAS, les services météorologiques vendent leurs données, et ce, pour un prix relativement élevé (Mahé et Gioda, 2009). Par ailleurs, la fenêtre Niger Moyen est la mieux connue en terme de risques hydrologiques (Descroix *et al.*, 2012) ; et les deux régions (Sénégambie et Niger Moyen) sont les mieux documentées en matière de conséquences agronomiques des changements climatiques (Sultan *et al.*, 2015).

L'indice standardisé des précipitations est défini par Balme *et al.* (2006). Celui-ci s'exprime ainsi (sous forme d'indice adimensionnel) :

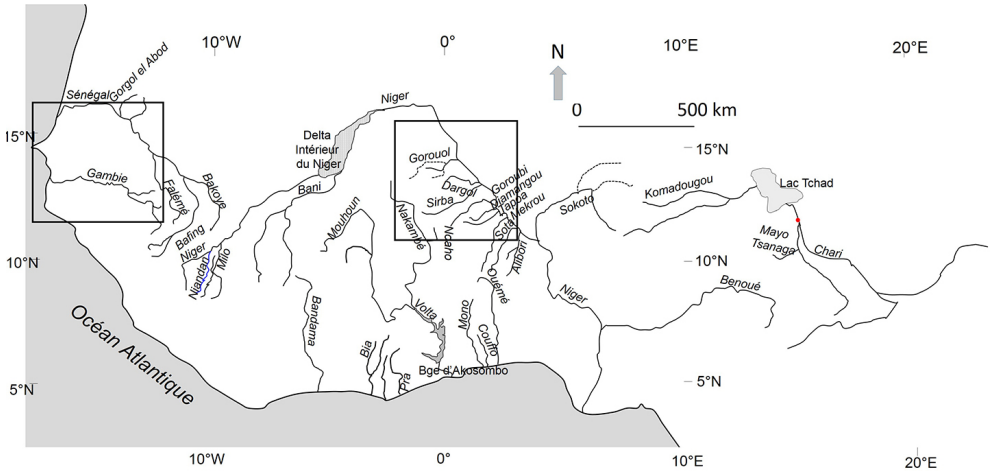
$$ISP = (P_i – P_{moy})/\sigma$$

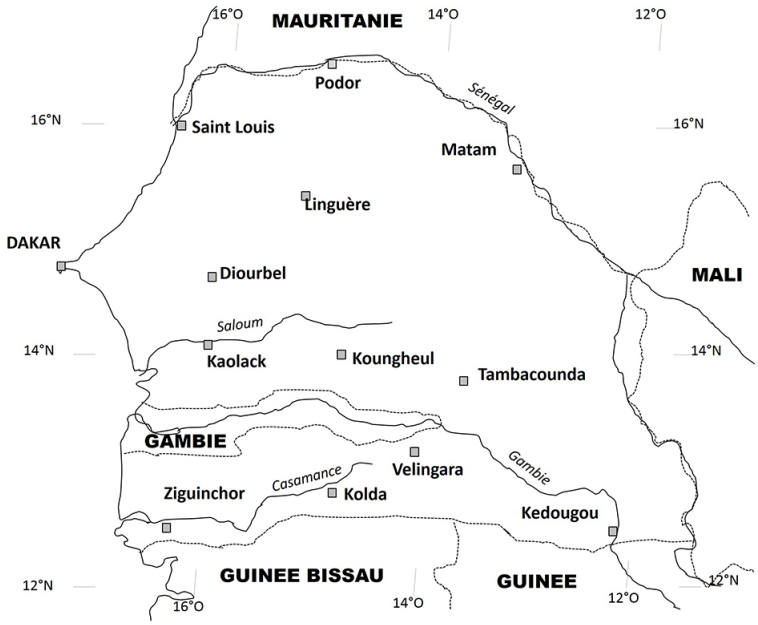
Où P_i = *pluie de l'année i* ; P_{moy}= *pluie moyenne de la série* ; σ = *écart-type de la série.*

Cet ISP est utilisé ci dessous afin de pouvoir comparer des séries différentes ; il permet aussi de synthétiser l'information et de visualiser l'évolution des séries sur une longue période. Utilisé pour chacune des deux sous-régions étudiées, il est fondé sur les données spatialisées, comme les cumuls de pluie et le nombre de jours de pluie, par la méthode des polygones de Thiessen.

Les séries chronologiques sont traitées à l'aide du logiciel Khronostat® (Boyer, 2002) ; ce dernier rassemble des méthodes basées sur l'utilisation de tests statistiques d'homogénéité afin de détecter ruptures et tendances. En particulier, il permet d'appliquer la procédure de segmentation de Hubert (Hubert *et al.*, 1989), ainsi que les tests de Buishand et Pettitt (version modifiée du test de Mann-Whitney) ; ceux ci ont été décrits par Lubès-Niel *et al.* (1998) ; le test de Buishand est un test d'homogénéité pour lequel l'hypothèse nulle est qu'une série temporelle est homogène entre deux temps donnés ; le test de Pettitt permet de vérifier la stationnarité de la série pluviométrique.

Les dates de début et de fin de mousson sont déterminées d'après les critères agronomiques de Sivakumar (1988). Leur spatialisation par région s'est également faite par la méthode des polygones de Thiessen.


10°W
0°
10°E
20°E
N
0
500 km
15°N
10°N
5°N
Sénégal
Gorgol el Abod
Gambie
Falémé
Bakoye
Bafing
Niger
Niandan
Milo
Delta Intérieur du Niger
Bani
Niger
Gorouol
Dargol
Sirba
Mouhoun
Nakambé
Nazinon
Goroubi
Tapoa Mekrou
Sokoto
Komadougou
Lac Tchad
Mayo Tsanaga
Chari
Benoué
Niger
Oueme
Alibori
Bandama
Volta
Mono
Couffo
Bia
Bge d'Ayamé
Océan Atlantique


16°O
14°O
12°O
MAURITANIE
Podor
Sénégal
16°N
Saint Louis
Matam
Linguère
DAKAR
Diourbel
MALI
Saloum
14°N
Kaolack
Koungheul
Tambacounda
GAMBIE
Velingara
Gambie
Casamance
Ziguinchor
Kolda
Kedougou
12°N
GUINEE BISSAU
GUINEE

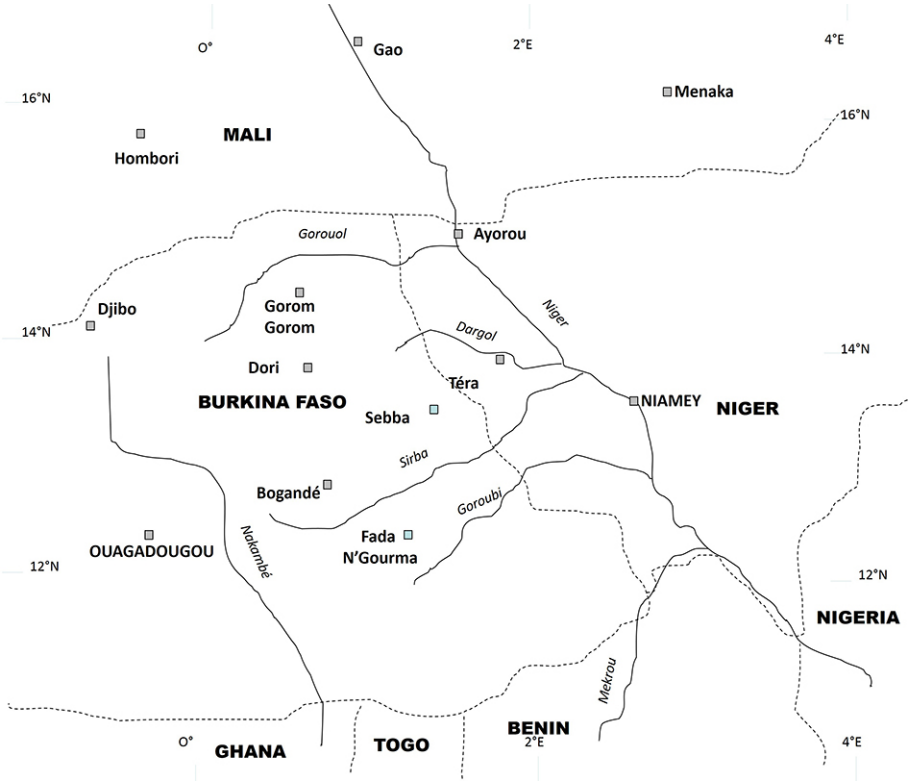


FIGURE 93 – Localisation (en haut) des deux fenêtres (Sénégambie et Bassin du Niger Moyen) où la pluviométrie est analysée ; et localisation des postes pluviométriques utilisés dans cette étude pour la Sénégambie (en bas à gauche) et pour le bassin du Niger Moyen (en bas à droite)

2 Évolution des pluies annuelles moyennes

Les indices standardisés des précipitations (Balme *et al.*, 2006) permettent de comparer les deux régions concernées (figures 94 et 95).

Dans les deux cas, on observe la phase humide des décennies 1950-1970, puis la longue période sèche qui lui a succédé, avec ensuite une lente remontée. Toutefois, les deux régions se distinguent par plusieurs différences : la décennie 1960 est plus sèche que la précédente au Sénégal, ce qui n'est pas le cas du Sahel intérieur. De plus, et cela est remarqué par Ali et Lebel (2009), la remontée se manifeste plus tôt au Sahel Intérieur (après 1993, figure 95) que sur le littoral (après 1999, figure 94). Cette remontée est confirmée par Panthou *et al.* (2014), ainsi que par Sanogo *et al.* (2015) et Dong et Sutton (2015). Sanogo *et al.* (2015) signalent qu'elle est significative dans la bande soudano-sahélienne, mais pas pour les stations proches du Golfe de Guinée ; cela est probablement en lien avec le fait que la diminution des pluies avait été d'autant plus forte en se dirigeant vers le Nord (Dacosta *et al.*, 2002).

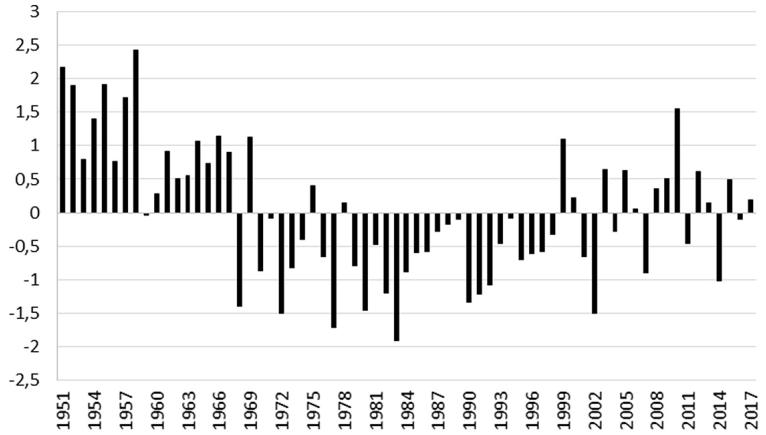


Figure 94 – Évolution de l'indice pluviométrique (SPI Standard Precipitation Index) pour la Sénégambie de 1951 à 2017

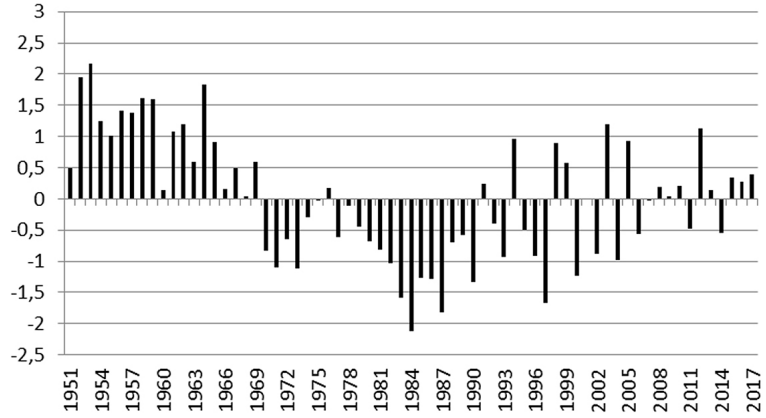


Figure 95 – Évolution de l'indice pluviométrique (SPI Standard Precipitation Index) pour le Bassin du Niger Moyen de 1951 à 2017

L'analyse montre que la même dynamique d'ensemble de la moyenne mobile sur cinq ans des précipitations annuelles est valable au Sénégal et dans le bassin du Niger Moyen (figures 94 et 95). Toutefois, ces toutes dernières années, la reprise des pluies semble « s'essouffler » dans le Niger Moyen, alors qu'elle se poursuit en Sénégambie (figures 96 et 97) où une baisse est notable toutefois depuis le début des années 2010. Dans les deux régions, l'évolution est globalement la même quelle que soit la position, comme le montrent les figures 96 et 97 où les données des deux sous-régions ont été découpées en sous-espaces (Ouest et Est pour la Sénégambie, Nord, Centre et Sud pour le Niger Moyen) pour mettre en valeur l'importance de la proximité de l'océan Atlantique ou pour illustrer le gradient pluviométrique latitudinal.

La diminution (1970-1990) (Dacosta *et al.*, 2002) puis la remontée (après 1995) des précipitations apparaissent plus marquées sur la zone littorale que sur la zone interne

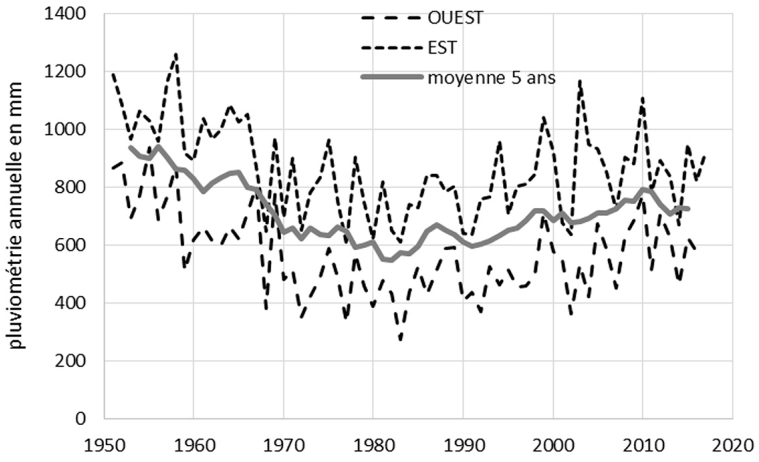


Figure 96 – Évolution de la pluviométrie moyenne en Sénégambie de 1951 à 2017

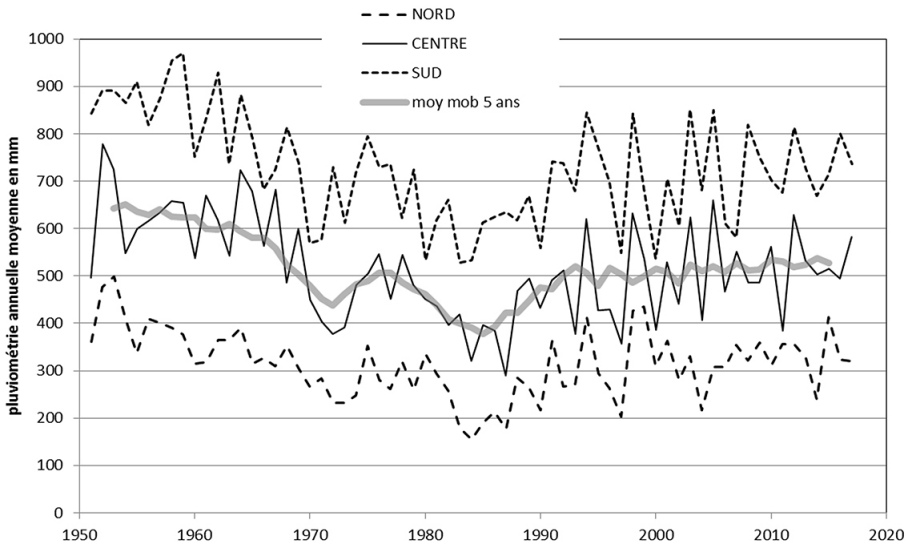


Figure 97 – Évolution de la pluviométrie moyenne dans le bassin Moyen du Niger de 1951 à 2017

du Sahel. Dans le cas de la station de Dakar (aéroport de Yoff), la baisse de la pluviométrie après 1968 est bien plus marquée qu'ailleurs (figure 98), la remontée étant par contre moins prononcée ; comme on observe les mêmes tendances à Saint-Louis (Dacosta *et al.*, 2002) (et de manière moindre, à Louga), on peut émettre l'hypothèse d'une certaine aridification du climat aux abords de l'océan Atlantique, ce qui est également souligné par Fall *et al.* (2006). Cette tendance est peut être liée à l'augmentation de la fréquence des vents de Nord-Ouest de plus de 10 m/s, telle que mise en évidence par Ruë (2004) (voir chapitre 10). Elle est aussi peut être une des

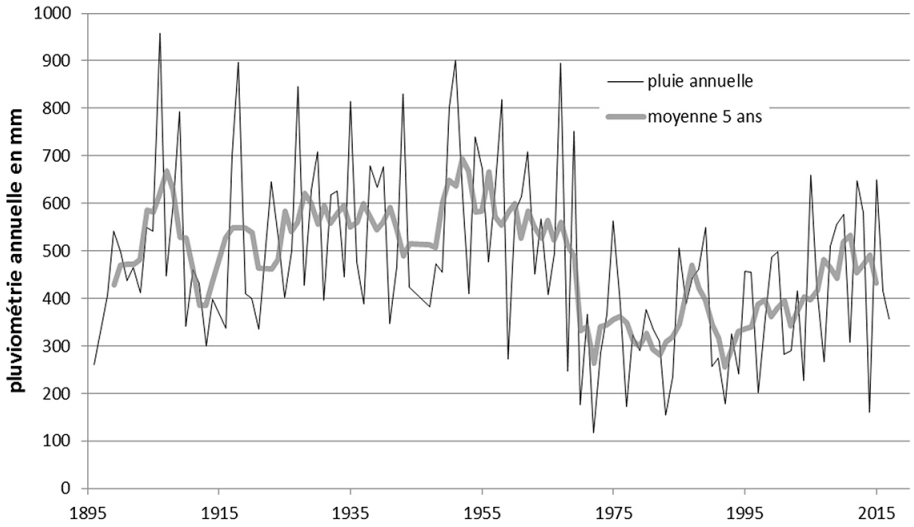


Figure 98 – Évolution de la pluviométrie à Dakar 1895 à 2017 : une rupture bien plus nette

causes du décrochage de la station de Dakar où la température n'augmente pas, et aurait même baissé depuis 2010 (tendance non statistiquement significative toutefois). Une analyse des pluies, des vents et des températures sur le littoral de la Grande Côté sénégalaise mérite d'être effectuée pour y voir plus clair.

La diminution des précipitations durant les années 1968-1993 a été observée dans toute l'Afrique de l'Ouest (Camberlin *et al.*, 2002), y compris dans les zones côtières du Golfe de Guinée (Moron, 1994), où les deux saisons des pluies ont pu être concernées (Janicot et Fontaine, 1997) ; au Sahel, c'est surtout le nombre d'évènements pluvieux qui a diminué, plus que le volume précipité par évènement (Le Barbé et Lebel, 1997). On a cru pendant quelques années que la remontée récente des précipitations ne concernait pas la partie ouest du Sahel (Lebel *et al.*, 2009), mais celle-ci y est bien arrivée, avec 5 ou 6 ans de retard sur le Sahel intérieur (voir plus bas).

Deux éléments sont souvent cités ces dernières années pour expliquer respectivement l'augmentation de la fréquence des inondations et la baisse des rendements agricoles en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne : une augmentation de l'intensité des précipitations (Descroix *et al.*, 2013 ; Panthou *et al.*, 2014, Descroix *et al.*, 2015) et une diminution de la durée de la saison des pluies, ce qui a été observé depuis quelques années durant les sécheresses (Diop *et al.*, 1996 ; Balme *et al.*, 2005).

Avant une analyse plus précise des jours pluvieux à fort cumul, nous analysons déjà la hauteur moyenne tombée par jour de pluie, en divisant la précipitation annuelle moyenne par décennie par le nombre de jours pluvieux de l'année. Dans les deux fenêtres régionales, on observe une évolution similaire de la pluviométrie, qui diminue fortement pendant les décennies 1970 et 80 pour remonter lentement ensuite ; le nombre d'évènements pluvieux (supérieurs à 0,5 mm par jour) suit à peu près la même

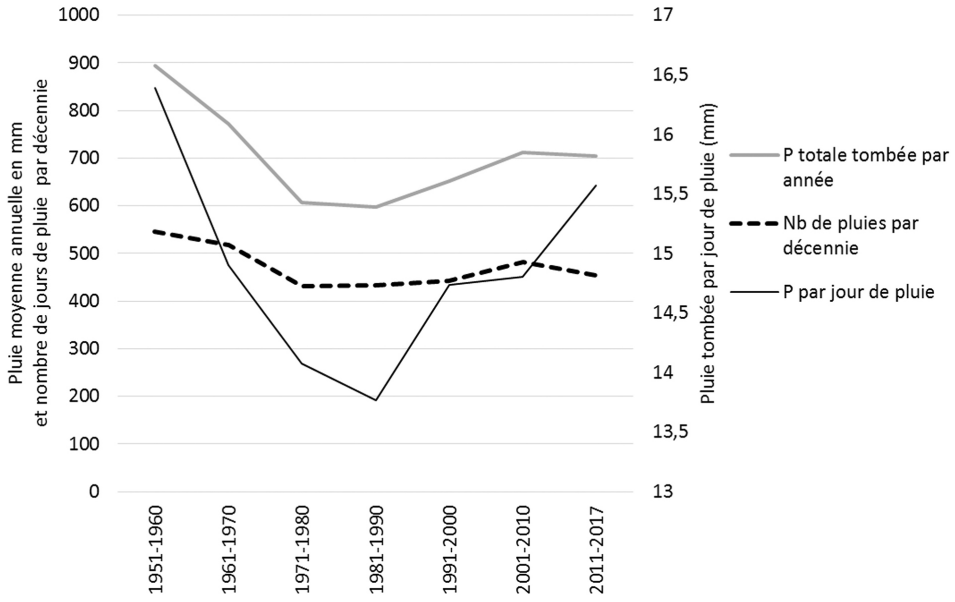


Figure 99 – Évolution de la pluie annuelle (moyenne par décennie), du nombre de jours de pluie (par décennie) et de la moyenne de la pluie tombée par jour de pluie, en Sénégambie, 1951-2017

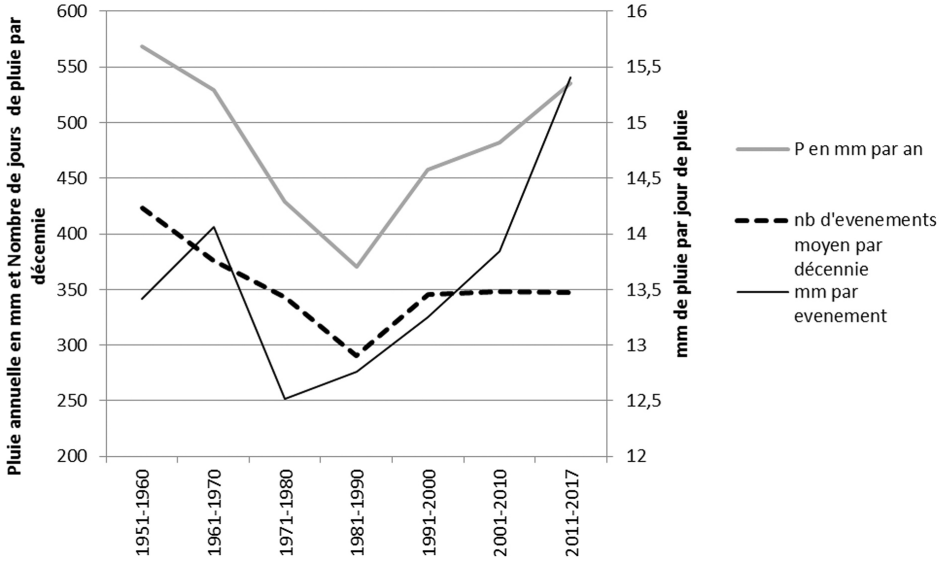


Figure 100 – Évolution de la pluie annuelle (moyenne par décennie), du nombre de jours de pluie (par décennie) et de la moyenne de la pluie tombée par jour de pluie, dans le Bassin du Niger Moyen, 1951-2017

évolution, de manière un peu plus marquée dans le Moyen Niger qu'en Sénégambie (figures 99 et 100).

3 Évolution des pluies de fort cumul journalier

Les séries statistiques constituées par la valeur maximale de la pluie en 24h (partie droite du tableau 8) sont analysées par décennies de 1951-1960 à 2001-2011 (on a adjoint la demi-décennie 2009-2013 pour cerner d'éventuelles tendances récentes). Elles sont à la fois bien plus souvent aléatoires que celles constituées par le total de la pluviométrie annuelle, et elles comportent bien moins de ruptures temporelles. Par ailleurs, les segmentations opérées par la procédure de Hubert (Hubert *et al.*, 1989 ; Paturel *et al.*, 1996 ; Boyer, 2002) correspondent, pour une grande proportion des stations, au début, assez brutal, de la grande période sèche 1968-1995 (21 cas sur 28 signalés en gras dans le tableau 8) ; inversement, dans les séries des valeurs maximales annuelles de pluie en 24h, elles ne correspondent que dans 3 cas sur 28 au début de cette sécheresse ; pour cette variable, les ruptures chronologiques identifiées correspondent aux évènements vraiment extrêmes (*i.e.* 230 mm en 1932 à Dakar, ou 261 mm en 2009 à Ouagadougou). On entrevoit probablement là une limite de la méthode de segmentation. La série des maxima journaliers par année pour la station de Dakar ne montre en effet pas d'autre rupture que celle-là ; une diminution relative de la valeur des maxima annuels est perceptible entre 1968 et 1995 mais elle n'est pas significative (figure 101). Cela provient d'un effet d'échantillonnage, très fort dans ce type de série (Panthou *et al.*, 2013). Le seul évènement notoire est celui de 1932 (215 mm en 24h) ; le deuxième plus fort cumul en 24h est celui observé le 26 août 2012 (Descroix *et al.*, 2015), soit près de 161 mm ; sept autres évènements de valeur semblable (plus de 144 mm) sont observés entre 1927 et 1996.

Par contre, si l'on s'intéresse à l'ensemble des évènements pluvieux de plus d'un certain seuil en 24 heures, et au cumul de précipitations qu'ils ont occasionné, on observe une évolution calquée sur la phase de sécheresse. Le tableau 9 ci-dessous montre, pour le Sénégal, à travers les tests de Student et WRS, quelles sont les évolutions inter décennales des précipitations de plus 20, 40, 60, 80 et 100 mm en 24h qui sont significatives ou assez significatives au vu de ces deux tests ; le tableau met en évidence les éléments suivants :

- l'évolution la plus significative au niveau statistique est celle qui a lieu entre, d'une part les décennies 1951-1960 et 1961-1970, et d'autre part les décennies 1971-1980 et 1981-1990 ;
- de manière moins prononcée, on constate que la remontée des précipitations après la phase aiguë de la sécheresse est également un changement significatif suivant ces deux tests (décennies 1971-1980 et 1981-1990, vis-à-vis des décennies 1991-2000 et 2001-2010) ; mais ce n'est pas toujours le cas, sauf avec la « demi-décennie partielle » 2009-2013 qui semble elle, se démarquer plus nettement.

Tableau 8 – Tendances et ruptures repérées dans les séries pluviométriques 1951-2013 (et Saint-Louis et Dakar depuis l'origine des stations, respectivement 1856 et 1896). Tendances et ruptures repérées dans les séries pluviométriques, pluviométrie annuelle et maximum en 24h, sur la période 1951-2013 (et aussi respectivement depuis 1856 et 1896 pour Saint-Louis et Dakar). Le test de corrélation sur le rang détermine si une série est aléatoire ou non ; les tests de Buishand et de Pettitt déterminent l'existence de ruptures dans une série. La procédure de Hubert (Hubert *et al.*, 1989) permet de segmenter une série statistique en sous-séries plus homogènes ; les périodes signalées en gras (doublons) indiquent les ruptures concordant avec le début de la période sèche (1968-1995). O = Oui, N = Non signifie que la série est aléatoire ou non ; qu'elle comporte une rupture ou non ; les stations Saint-Louis et Dakar, qui ont les deux plus longues séries d'observations en Afrique de l'Ouest, sont traitées sur la période 1951-2013 afin qu'elles soient comparables aux autres séries, et aussi sur la série entière pour montrer les différences éventuelles sur le long terme

STATION	PERIODE	TENDANCES ET RUPTURES DE LA PLUVIOMETRIE						TENDANCES ET RUPTURES DES MONTANTS PLUVIO MAX EN 24 H					
SENEGAL		aléatoire	ruptures	segment 1	segment 2	segment 3	segment 4	aléatoire	rupture	segment 1	segment 2	segment 3	segment 4	segment 5
ST LOUIS	1856-2013	N	O	1856-1927	1929-1950	1951-1958	1959-2013	O	N	1856-2013				
DAKAR	1896-2013	N	O	**1896-1969**	**1970-2013**			O	N	1896-1931	1932-1932	1933-2013		
ST LOUIS	1951-2013	N	O	1951-1955	**1956-1969**	**1970-2013**		O	O	1951-1958	1959-2013			
DAKAR	1951-2013	N	O	**1951-1969**	**1970-2013**			O	N	1951-1961	**1962-1964**	**1965-2013**		
DIOURBEL	1951-2013	N	O	1951-1958	**1959-1972**	**1973-2013**		N	O	1951-2013				
KAOLACK	1951-2013	N	O	1951-1958	**1959-1971**	**1972-1998**	1999-2013	O	N	1951-2013				
KEDOUGOU	1951-2013	N	O	1951-1953	1954	1955-2013		O	N	1951-2013				
KOLDA	1951-2013	N	O	**1951-1964**	**1965-2005**	2006	2007-2013	N	O	**1951-1971**	**1972-2013**			
KOUNGHEUL	1951-2013	N	O	**1951-1966**	**1967-2002**	2003-2013		O	N	1951-1959	1960-2013			
LINGUERE	1951-2013	O	O	1951-1961	1962-2008	2009-2013		O	N	1951-2013				
MATAM	1951-2013	N	O	**1951-1966**	**1967-1998**	1999-2013		O	N	1951-2013				
PODOR	1951-2013	O	O	1951-1954	1955	1956-2013		O	O	**1951-1964**	**1965**	1966-2013		
TAMBACOUNDA	1951-2013	N	O	**1951-1966**	**1967-2013**			O	O	1951-2013				
VELINGARA C	1951-2013	N	O	**1951-1967**	**1968-2013**			O	N	1951-2013				
ZIGUINCHOR	1951-2013	O	O	**1951-1967**	**1968-2007**	2008-2013	1999-2013	O	N	1951-1998	1999	2000-2009	2010-2013	
SENEGAL	1951-2013	N	O	1951-1958	**1959-1969**	**1970-1998**	1999-2013							
NIGER MOYEN		aléatoire	ruptures	segment 1	segment 2	segment 3	segment 4	aléatoire	rupture	segment 1	segment 2	segment 3	segment 4	segment 5
BOGANDE	1951-2013	O	O	**1951-1968**	**1969-1993**	1994-2013		O	N	1951-2013				
GOROM GOROM	1951-2013	O	O	**1951-1969**	**1970-2000**	2001-2013		O	N	1951-2004	2005-2006	2007-2013		
DORI	1951-2013	N	O	**1951-1966**	**1967-2013**			O	N	1951-2013				
FADA N GOURMA	1951-2013	N	O	**1951-1964**	**1965-2013**			O	N	1951-1959	1960-2013			
OUAGA AEROPORT	1951-2013	N	O	1951-1976	1977-2013			O	N	1951-2008	2009	2010-2013		
NIAMEY	1951-2013	N	O	**1951-1969**	**1970-2013**			O	N	1951	1952	1953-2013		
GAO	1951-2013	N	O	1951-1959	1960-2013			N	O	1951-1952	1953-1954	1955-1974	1975	1976-2013
MENAKA	1951-2013	N	O	**1951-1967**	**1968-1997**	1998-2013		O	N	1951-2013				
SEBBA	1951-2013	N	O	**1951-1967**	**1968-2013**			N	O	1951-1979	1980	1981-2013		
DJIBO	1951-2013	N	O	**1951-1965**	**1966-1981**	1982-1993	1994-2013	N	O	1951-1981	1982-2005	2006	2007-2013	
HOMBORI	1951-2013	N	O	1951-1958	1959-1981	1982-1990	1991-2013	N	N	1951-2013				
AYOROU	1951-2013	O	O	**1951-1966**	**1967-1997**	1998-2013		O	N	1951-2013				
MOY NIGER MOYEN	1951-2013	N	O	**1951-1965**	**1966-1980**	1981-1990	1991-2013							

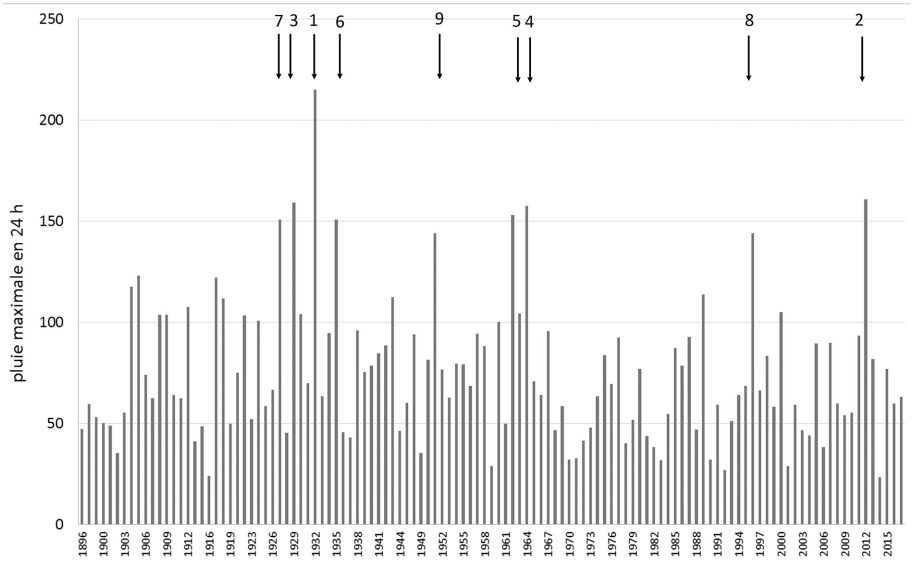


Figure 101 – Série du maximum annuel de précipitation tombée en 24h pour la station de Dakar ; on remarque un seul évènement notoire, celui de 1932. Le deuxième évènement, celui du 26 août 2012, a eu 7 autres valeurs proches dans les années antérieures

On s'intéresse à présent uniquement aux jours de pluie caractérisés par des montants de plus de 60, 80 et 100 mm en 24h. Nous avons classé ces jours par décennie afin d'avoir un nombre significatif d'éléments dans la population des jours de pluie. Pour arriver aux années récentes, nous avons ici pu rajouter la période de 7 ans 2011-2017 ; l'évolution de ces 6 décennies et fraction est assez similaire dans les deux régions (Sénégambie et Bassin du Niger Moyen), que ce soit en terme de nombre de jours de pluie ou de cumul précipité (figures 102 à 105). La seule différence notoire est qu'en Sénégambie, le nombre de jours de pluie de fort cumul ainsi que les pluies observées ces jours-là ont augmenté durant la décennie 1991-2000 pour diminuer ensuite durant la décennie suivante, mais réaugmenter nettement lors de la période 2011-2017.

On observe aussi une différence dans la répartition des cumuls des évènements journaliers concernés. En Sénégambie, le nombre de jours de pluie de plus de 80 et 100 mm/24 h, ainsi que les cumuls pluviométriques correspondants (figures 102 à 105) ont atteint voire dépassé, uniquement pour la dernière période disponible (2011-2017), les valeurs maximales observées avant la sécheresse. Alors que dans le Moyen Bassin du Niger, ce sont les pluies de plus de 60 mm/jour qui ont dépassé en nombre comme en cumul, les valeurs observées durant cette dernière décennie. Panthou *et al.* (2014) observent de même une augmentation à la fois du nombre de jours de précipitations élevées (que les auteurs appellent « extrêmes ») et du total de précipitation observée pour ces jours-là. Ils rejoignent en cela les observations faites sur les causes climatiques des nombreuses inondations urbaines ces dernières années en Afrique de l'Ouest (recensées dans Descroix *et al.*, 2015a) mais qui ont aussi touché les zones rurales (Paeth *et al.*, 2010) ; ces auteurs démontrent l'existence d'une cause « édaphique » (les sols de plus en plus encroûtés et imperméabilisés) à ce surcroît

d'inondations, mais aussi d'une « intensification » des pluies, révélée par un accroissement du nombre des évènements les plus abondants. Ceci était déjà observé à une échelle plus continentale par New *et al.* (2006).

Tableau 9 – Différences significatives (***) et assez significatives (*) entre décennies sur les séries de précipitations en 24h au Sénégal, selon les tests de student (moyenne) et wrs (médiane) (student/wrs) pour le nombre de jour de pluies journalières supérieures à certains seuils (N) et pour le cumul de précipitations tombé lors de ces évènements (sum)

student/wrs	+20 - N	+20 - sum	+40 - N	+40 - sum	+60 - N	+60 - sum	+80 - N	+80 - sum	+100 - N	+100 - sum
1951-1960 vs 1961-1970										
1951-1960 vs 1971-1980	*/*	*/*	*/*	*/***	***/***	***/***	*/*	*/*		
1951-1960 vs 1981-1990	*/*	*/*	*/*	*/*	***/***	***/***	***/***	***/***	*/***	*/***
1951-1960 vs 1991-2000			*		*/*	*/*				
1951-1960 vs 2001-2010					*/*	/*				
1951-1960 vs 2009-2013										
1961-1970 vs 1971-1980				*/*	*/*	*/*	*/*	*/*		
1961-1970 vs 1981-1990					*/*	*/*	***/***	***/***	*/*	*/*
1961-1970 vs 1991-2000										
1961-1970 vs 2001-2010										
1961-1970 vs 2009-2013										
1971-1980 vs 1981-1990										
1971-1980 vs 1991-2000										
1971-1980 vs 2001-2010										
1971-1980 vs 2009-2013				*/*	*/*	*/*	*/*	*/*		
1981-1990 vs 1991-2000							*/*	*/***	*/*	*/***
1981-1990 vs 2001-2010							*/	*/*	*/*	*/*
1981-1990 vs 2009-2013			*/	*/	*/*	*/*	*/*	***/***	*/*	*/*
1991-2000 vs 2001-2010										
1991-2000 vs 2009-2013										
2001-2010 vs 2009-2013										

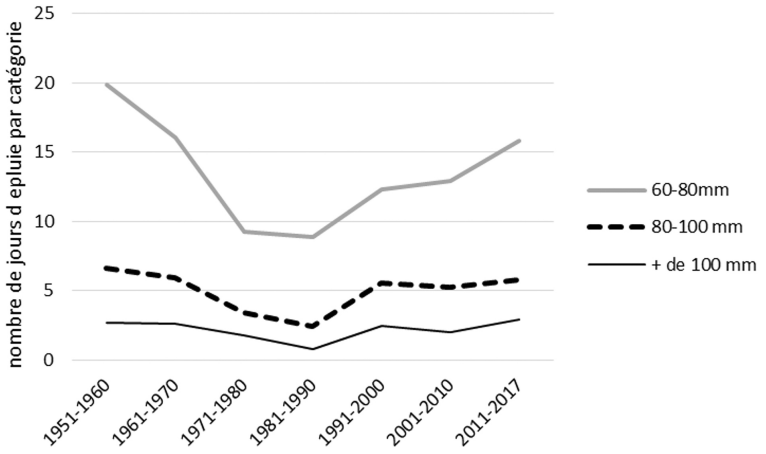


Figure 102 – Évolution par décennie du nombre de jours de pluie de plus de 60, 80 et 100 mm en 24h, Sénégambie, par décennie, de 1951 à 2017

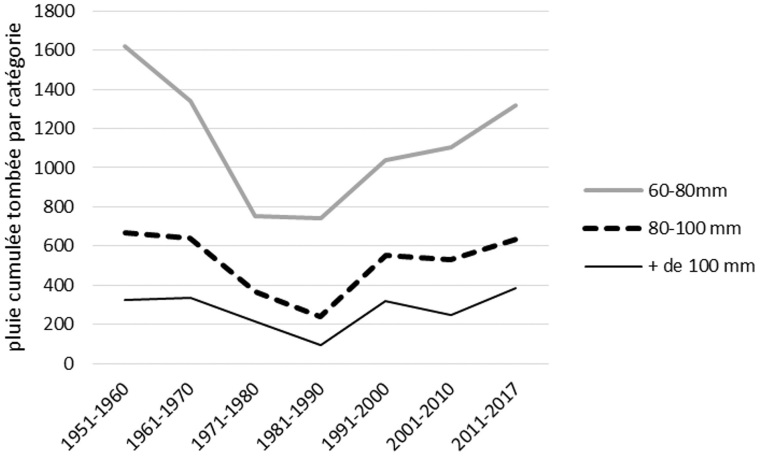


Figure 103 – Évolution par décennie du cumul des précipitations tombées lors de jours de pluie de plus de 60, 80 et 100 mm en Sénégambie, par décennie, de 1951 à 2017

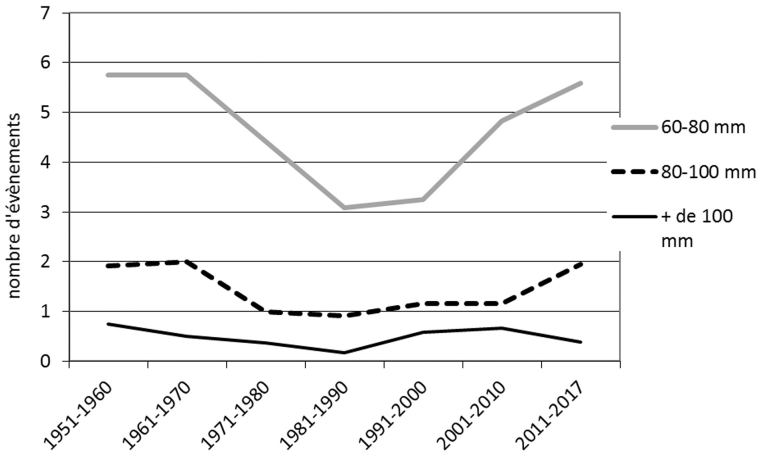


Figure 104 – Évolution du nombre de jours de pluie de plus de 60, 80 et 100 mm en 24h, Niger Moyen, par décennie de 1951 à 2017

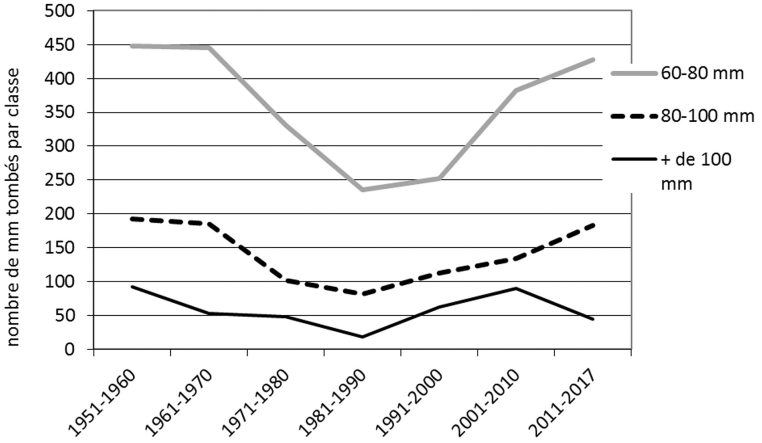


Figure 105 – Évolution du cumul des précipitations tombées lors de jours de pluie de plus de 60, 80 et 100 mm au Niger Moyen, par décennie de 1951 à 2017

4 Évolution de la durée des moussons

Quand on a la chance de pouvoir être souvent « sur le terrain », on recueille beaucoup de témoignages de paysans sahéliens se plaignant souvent d'une plus grande irrégularité intra-saisonnière des précipitations. Cette irrégularité a été confirmée par les travaux de Balme *et al.* (2005 et 2006), Sultan *et al.* (2000 et 2005), et Marteau *et al.* (2009 et 2011).

Dans cette sous-partie, les analyses portent sur les démarrages et fins de saison des pluies d'un point de vue climatique (*i.e.* le premier évènement notoire, ici arbitrairement la première pluie de plus de 10 mm – et pour la fin, le dernier épisode de 10 mm). D'un point de vue agronomique, nous avons adopté ici le mode de déter-

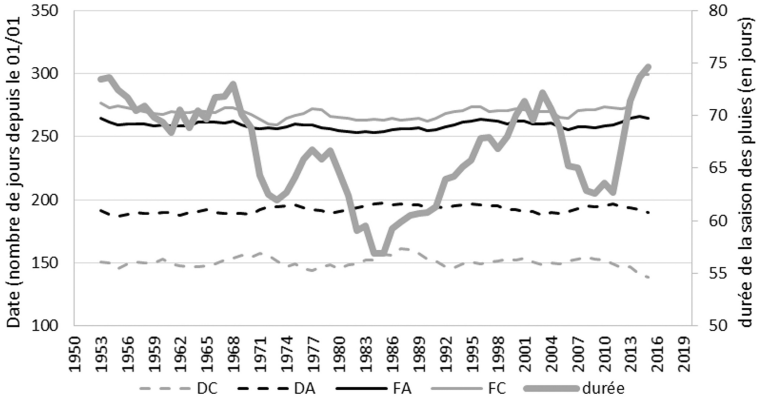


Figure 106 – Date de début et de fin climatique et agronomique, et durée de la saison des pluies au Sénégal entre 1951 et 2017 (D C= début climatique ; DA = début agronomique ; FA = fin agronomique ; FC = fin climatique) ; moyenne glissante sur 5 ans (d'où fin en 2015)

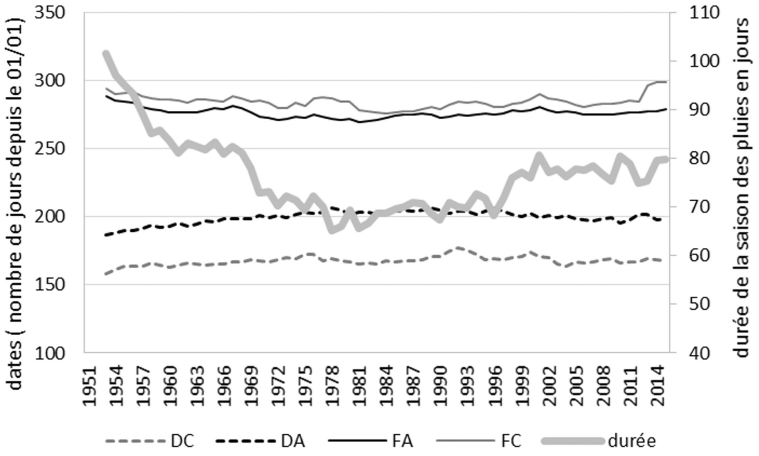
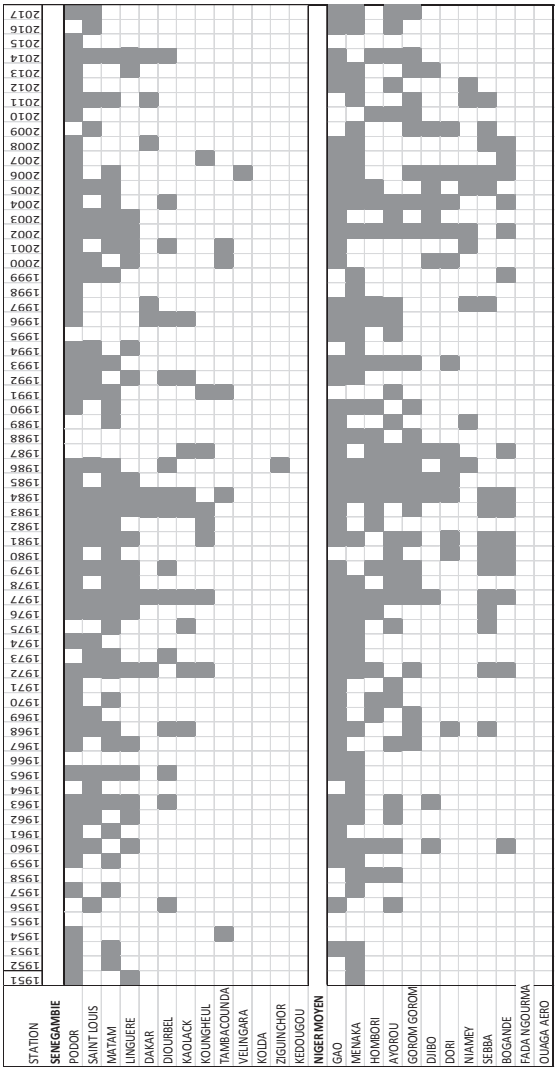


Figure 107 – Date de début et de fin climatique et agronomique, et durée de la saison des pluies pour la fenêtre intérieure du Sahel (bassin du Niger Moyen) entre 1951 et 2013 (DC = début climatique ; DA = début agronomique ; FA = fin agronomique ; FC = fin climatique)

mination proposé par Sivakumar (1988), tel que repris par Balme *et al.* (2005). Le début de l'hivernage est donc considéré comme la première précipitation ou ensemble d'évènements produisant plus de 20 mm en moins de trois jours et non suivi par une phase sèche de plus de 7 jours pendant le mois suivant. C'est cette configuration qui manque souvent pour une « bonne » mousson au niveau agronomique, et on observe fréquemment des séquences sèches de 15-20 jours dans le premier mois ; de même, la fin agronomique est le dernier évènement de plus de 10 mm non précédé par un épisode sec de plus de 20 jours (Sivakumar, 1988).

Tableau 10 – Fréquence des moussons « ratées », c'est-à-dire ne s'étant pas produites suivant les critères de Siva-kumar de 1951 à 2017 en Sénégambie et dans le bassin du Niger Moyen : aucun évènement de plus de 20 mm ne s'est produit qui n'ait pas été suivi pas au moins un épisode sec durant le premier mois qui l'a suivi ; les cases grisées correspondent aux moussons « ratées » au niveau agronomique. Dans les deux fenêtres, les stations ont été classées du Nord au Su



Il est clair, depuis longtemps, que les années 1950-1967 ont été particulièrement humides en Afrique de l'Ouest, ce qui a été rappelé plus récemment (Nicholson, 2005 et 2013). Cela s'est clairement traduit aussi par des hivernages plus longs tant en Sénégambie (figure 106) qu'au Sahel central (figure 107 pour le Niger Moyen). Pendant la sécheresse, l'hivernage « agronomique » a été bien plus court qu'auparavant, avec une durée moyenne de 70 jours en Sénégambie (figure 106), ce qui semble dû essentiellement à un démarrage tardif des pluies, après le 200^{e} jour (soit fin juillet) au lieu

de début juillet auparavant. Depuis, le début de l'hivernage redevient un peu plus précoce.

Pour la fenêtre du Sahel intérieur (figure 107), on observe la même diminution de la durée de la mousson agronomique. Il y a une remontée après la première phase de sécheresse du début des années 1970, et une seconde diminution brutale au début des années 1980, la durée s'abaissant à moins de 60 jours contre 70 jours lors de la période humide précédente. Là aussi, c'est le démarrage tardif des pluies qui explique l'essentiel de ce raccourcissement, car se produisant alors mi-juillet (jour 195) au lieu de début juillet (jour 185). Par contre, la remontée, très rapide aussi, de la durée de l'hivernage après les phases sèches, semble interrompue au début des années 2000, la durée se stabilisant vers une durée inférieure à 65 jours ; on observe une nette remontée de la durée de la saison des pluies depuis le début des années 2010.

Un ouvrage paru en novembre 2015 est consacré à l'impact des changements climatiques et environnementaux sur les sociétés rurales en Afrique de l'Ouest (Sultan *et al.*, 2015). Dans cet ouvrage, on retiendra ici principalement que Sultan *et al.* (2015) rejoignent Roudier *et al.* (2011) pour montrer l'impact des changements climatiques sur les rendements céréaliers présents et futurs ; ces derniers auteurs prévoient un impact plus fort du réchauffement et d'un démarrage tardif des pluies, attendus dans quelques décennies, dans l'Ouest du Sahel (le Sénégal en particulier) qu'au centre de celui-ci (Niger et Burkina Faso). À l'inverse, de manière plus positive (car ne faisant pas de projections sur le futur ?), Muller *et al.* (2015) constatent un regain récent et spectaculaire de la culture du mil sanio dans les paysages du Sine (Ouest du Sénégal) ; il s'agit d'une espèce à cycle long, qui se révèle un excellent marqueur de la remontée pluviométrique observée depuis une quinzaine d'années au Sénégal (contre vingt ans au Sahel central). Ce surplus de pluie, observé surtout en fin d'hivernage, permet le retour d'une céréale qui avait presque disparu après les grandes sécheresses des années 1970 et 1980.

Au moment de ces grandes sécheresses (le déficit a perduré, comme on l'a vu, de 1968 à 1995), on a donc bien assisté, en plus d'une baisse de la pluviométrie, à une diminution de la durée de la saison pluvieuse « agronomique », dans les deux régions et dans les deux cas, principalement liée à un démarrage tardif de la saison (Sultan *et al.*, 2013).

Reste à déterminer si ces hivernages, devenus plus longs ces toutes dernières années, ont connu une bonne répartition des pluies durant la saison, tant il est vrai que même le mil, qui est la céréale la mieux adaptée au contexte sahélien semi-aride, a besoin d'une bonne pluie au minimum chaque semaine. Le tableau 10 est instructif à ce sujet puisqu'il répertorie les années durant lesquelles la saison agroclimatique ne s'est jamais déclarée suivant les critères de Sivakumar (1988) cités ci-dessus. On constate logiquement que ces critères sahéliens deviennent peu restrictifs pour les stations les plus méridionales, au climat soudanien, puisque des stations comme Kolda et Kedougou au Sénégal, ou bien Fada et Ouagadougou au Burkina Faso, n'ont connu aucune saison « ratée » depuis 1951.

Par ailleurs, on constate que :

- dans les deux « fenêtres », le nombre de saisons ratées diminue logiquement vers le sud ;
- dans les deux cas également, on distingue bien l'épisode sec de 1968-1995, avec des années particulièrement sèches partout comme 1972, 1977 ou 1983-1984 ;
- par contre, pour la fenêtre interne du Sahel, après une phase de répit durant les années 1990, on observe une augmentation très sensible des années sans mousson agronomique organisée durant les années 2000, sans que celles-ci aient connu de baisse des précipitations ; cet élément indique donc bien que la répartition temporelle des pluies durant la saison a été modifiée, et confirme que la pluviométrie annuelle totale n'est pas suffisante pour obtenir une bonne récolte.

Ceci peut être une explication à l'exacerbation en cours du « paradoxe hydrologique du Sahel » avec l'augmentation sensible des coefficients d'écoulement des bassins (Descroix *et al.*, 2012 ; Descroix *et al.*, 2015b). Par ailleurs, le récent ouvrage de synthèse, cité plus haut (Sultan *et al.*, 2015), offre un panorama des changements climatiques tels qu'ils ont été observés depuis un siècle en Afrique de l'Ouest, ainsi que des prévisions issues de plusieurs modèles. Il permet de comprendre les impacts que la longueur de la mousson, ou son simple retard, ou encore l'évolution des précipitations extrêmes, peuvent avoir sur les rendements agricoles, donc sur le bien-être des sociétés rurales et la sécurité alimentaire.

Enfin, le fait que le retour des pluies, globalement très positif pour les sociétés rurales, ne soit pas toujours perçu ou reconnu, pourrait être lié aux dégradations subies par les sols et la végétation durant la phase de sécheresse, tant au Niger ou au Burkina (Descroix *et al.*, 2012), qu'au Mali (Kergoat *et al.*, 2015). En effet, la végétation a parfois été irrémédiablement détruite, les sols très indurés ou encroûtés. Cela s'est traduit par une très forte réduction de la capacité de rétention en eau des sols, ce qui provoque, depuis quelques années, un accroissement notoire des inondations. Ces sols qui n'absorbent plus d'eau, ayant perdu structure et nutriments pour ce faire, sont peut-être à l'origine du défaut de perception fréquemment observé de l'amélioration pluviométrique. L'eau ruisselle au lieu de profiter aux sols et à la végétation ; on peut résumer la situation en disant qu'à une sécheresse climatique a souvent succédé une sécheresse édaphique.

Les paysans ont pourtant souvent été les premiers à se rendre compte de ce qu'ils perçoivent comme une amélioration ; cependant, les rendements ont certes augmenté, mais moins que ce que l'augmentation des pluies laisserait espérer, du fait de l'augmentation déjà sensible des températures (Roudier *et al.*, 2011 ; Sultan *et al.*, 2015) ; cela a été assez rapide dans le Sahel où les sols sont très pauvres et où le quasi seul « intrant » est l'eau de pluie. Parfois, vers 2005, les paysans ont aussi pu percevoir que leurs pratiques agricoles mêmes « produisaient » du ruissellement, et spontanément se remirent à pratiquer les méthodes ancestrales, issues des savoirs locaux, de l'agroforesterie. Il s'agit en particulier de ce qu'on appelle la RNA (Régénération Naturelle Assistée), c'est-à-dire le fait de laisser des arbres (en particulier des légumineuses) pousser dans les champs, afin de limiter l'érosion éolienne et hydrique, et de faciliter

la fixation de l'azote qui manque cruellement aux sols sableux du Sahel (Larwanou *et al.*, 2006 ; Reij *et al.*, 2009) mais aussi plus simplement, d'un grand nombre d'initiatives surgies d'un village ou d'une association pour reverdir le Sahel (Luxereau et Roussel, 1997).

La recrudescence des inondations (Sighomnou *et al.*, 2013 ; Descroix *et al.*, 2015) est presque « normale » du fait que les sols sont dégradés par les années de déficit et parfois, par la surexploitation, et aussi parce que les pluies ont augmenté. Elles ont repris des valeurs plus proches de celles qu'on observait au début du XX^{e} siècle, mais cela n'est pas toujours gage d'une bonne répartition durant la saison. Et si les pluies augmentent plus tôt au Sahel intérieur qu'en Sénégambie, il semble que le nombre de « moussons ratées » soient à nouveau en augmentation ces dernières années, sans qu'on ne note pour autant de réduction des cumuls annuels précipités.

Conclusion

La pluviométrie des deux sous-espaces ouest-africains étudiés ici a recommencé à augmenter au milieu ou à la fin de la décennie 1991-2000, suivant les stations analysées. Mais elle n'a nulle part atteint les valeurs annuelles des décennies 1950-1970, qui étaient elles-mêmes excédentaires par rapport à la moyenne à long terme (1900-2015, voir figure 92). Cette augmentation s'est accompagnée de celle de la hauteur précipitée moyenne par jour de pluie, mais surtout, d'une augmentation plus prononcée de l'occurrence des jours de pluie de fort cumul (pluies « extrêmes »), et cela dans les deux sous-régions étudiées ici (la Sénégambie et le bassin du fleuve Niger Moyen).

Une analyse des séries chronologiques révèle l'importance de la grande période sèche (1968 à 1993 au Sahel central, 1968 à 1998 en Sénégambie), dont le début est dans toutes les stations ou presque, une date de rupture stationnelle dans la série des pluies annuelles. La fin de la sécheresse est moins nette et moins marquée, et de ce fait moins souvent marquée par une rupture. C'est beaucoup plus rarement le cas pour les séries du maximum de pluie en 24 h. Enfin, les dates de début de la saison des pluies sont redevenues bien plus précoces avec le retour des pluies, dès la fin des années 1990 ; les dates de fin de mousson ont moins évolué. Cependant, on note une nette ré-augmentation de la durée de la mousson. Mais alors que l'augmentation des pluies s'est plus fait attendre à l'Ouest (Sénégambie) qu'au Sahel central (Niger Moyen), elle y semble plus prononcée, plus franche et plus durable alors qu'elle semble marquer le pas à l'intérieur du Sahel. C'est peut-être une des explications au fait que les « mauvaises » moussons en termes agronomiques ont recommencé à devenir plus nombreuses ces dernières années dans le bassin du Niger Moyen.

Quoiqu'il en soit, le retour des pluies n'est peut-être pas aussi bénéfique en termes de ressources en eau et en termes de rendements culturaux. En effet, il a exacerbé le « paradoxe hydrologique du Sahel », à savoir l'augmentation des écoulements observée depuis le début de la sécheresse en 1968, et n'a pas entraîné pour l'heure de très forte hausse de rendements agricoles. Une explication commune à ces deux processus tient à la dégradation des sols et de la végétation qui s'est opérée durant ces années de sécheresse, limitant considérablement la capacité de rétention en eau des sols, des champs, des terroirs et des bassins versants. La majeure partie de l'espace sahélien

connaissant un ruissellement majoritairement hortonien, une hausse des intensités de pluie infra-journalières accentue encore les écoulements et le risque d'inondation.

Ceci explique peut être pourquoi tant d'acteurs (agriculteurs, éleveurs, bûcherons, autres acteurs du monde rural), n'ont toujours pas réellement perçu le retour du Sahel à une pluviométrie plus élevée.

En résumé :

- ↪ Les séries statistiques des pluies ont connu une rupture généralisée aux alentours de 1968 (forte baisse des pluies annuelles moyennes) ; un grand nombre de stations a connu une deuxième rupture entre 1988 et 2000 (augmentation des pluies) ; moyennes et écart types semblent avoir retrouvé, à partir de 1993-1997, leurs valeurs de la première moitié du XX^{e} siècle, avant l'épisode humide (1951-1967) qui a précédé la longue période de déficit pluviométrique (1968-1995).
- ↪ Les pluies de fort cumul en 24h ont augmenté plus vite que la pluie annuelle, en nombre comme en cumul pluviométrique, mais elles rejoignent juste leur maxima des décennies humides (pour un total pluviométrique annuel certes inférieur, leur poids relatif est donc en croissance).
- ↪ La longueur des moussons a ré augmenté et permet en général de meilleures récoltes que durant la période de déficit ; toutefois on note, depuis le début des années 2000, et dans le bassin du Niger Moyen (pas au Sénégal), un retour en force des « moussons ratées » c'est-à-dire des hivernages où des périodes sèches ou un déclenchement trop tardif, une fin précoce, sont la cause de très mauvaises récoltes.