

Variabilité spatio-temporelle passée et future de la pluie sur le bassin du Bani en Afrique de l'Ouest

S. LOUVET¹, J. E. PATUREL¹, G. MAHE², N. VIGAUD³, P. ROUCOU³,
N. ROUCHE¹ & M. KOITE⁴

¹HSM/IRD, Montpellier, France
samuel.louvet@gmail.com

²HSM/IRD, Rabat, Maroc

³CRC, Dijon France

⁴DNM, Bamako, Mali

Résumé Depuis 1970, sur le Bani, principal affluent du Niger supérieur, l'écoulement annuel a baissé de 69% alors que le déficit pluviométrique est compris entre 15% et 25% sur le bassin. Parmi les causes possibles les changements des caractéristiques pluviométriques sont à explorer. Quatre méthodes d'interpolation spatiale des champs de pluies ont été comparées sur des indices intra-saisonniers (nombre de jours secs, séquences sèches, EDI, SPI, etc.) pour la période 1950–2006. Cette étude a également été menée sur des données pluviométriques issues d'un modèle climatique régional (WRF) à l'horizon 2032–2041. La péjoration pluviométrique est imputable à la conjonction de plusieurs facteurs: un cœur de saison des pluies moins arrosé, une fin plus précoce, un nombre de séquences sèches en augmentation. Le modèle climatique régional prévoit des précipitations en hausse par rapport à la décennie 1981–1990, moins de séquences sèches et des vagues de sécheresse moins longues.

Mots clés Afrique de l'Ouest; mousson; précipitations; sécheresse; variabilité spatio-temporelle

Past and future spatio-temporal variability of rainfall of the Bani catchment in West Africa

Abstract Since 1970, on the Bani, main tributary of the upper Niger, annual discharges have decreased by 69% while annual rainfall has decreased only by 15% to 25% over the catchment. Among the possible causes for this very strong discharge decrease changes of precipitation patterns must be explored. Four different methods of spatial interpolation of rainfall fields were compared on intra-seasonal indices (number of dry days, the dry spells, EDI, SPI, etc.) for the period 1950–2006. This study was also conducted on simulated pluviometric data generated by a regional climatic model (WRF) for the 2032–2041 period. The pluviometric deficit is explained by a conjunction of many factors: an earlier end of rainy season, less precipitation during the core of it and an increase of the number of dry spells. The climatic model envisages an increase of annual precipitation amounts compared to the 1981–1990 period, fewer dry spells and shorter droughts.

Key words drought; monsoon; rainfall; spatio-temporal variability; West Africa

INTRODUCTION

L'Afrique de l'Ouest sub-saharienne est une des régions du monde qui a connu la plus forte diminution relative des précipitations au cours de la seconde moitié du 20^{ème} siècle (Redelsperger *et al.*, 2006). Or, des changements dans la dynamique du système de mousson et des régimes pluviométriques associés peuvent avoir des répercussions désastreuses. Les parties sahélienne et soudano-sahélienne ont été particulièrement touchées par cette évolution aux conséquences catastrophiques (alimentaires, économiques et sanitaires; Folland *et al.*, 1986). La plupart des rivières soudano-guinéennes enregistre un déficit de débit supérieur au déficit de pluie (Mahé & Olivry, 1999). Mais sur le bassin versant du Bani, affluent du fleuve Niger au Mali, la pluviométrie annuelle a baissé de 15 à 25% sur le bassin depuis le début de la sécheresse en 1970 et les écoulements annuels ont baissé de 69% sur la même période à la station de Douna (13.2°N; 5.9°O) vers l'exutoire du bassin (Mahé, 2009). Cette situation exceptionnelle incite à effectuer des recherches approfondies sur l'hydroclimatologie de ce bassin. Il apparaît aussi fondamental de s'intéresser à la vulnérabilité de cette région soumise aux aléas de la ressource en eaux superficielles, qui s'exprime principalement à travers des sécheresses. La notion de vulnérabilité recouvre un large champ de disciplines et nous nous contenterons ici d'une approche climatologique par indicateurs. Le bassin du Bani n'a été que très peu documenté de ce point de vue. Nous proposons dans cette étude de compléter les travaux précédents en utilisant une base de

données pluviométriques quotidiennes plus complète (nombre de stations, profondeur historique) pour analyser la variabilité spatio-temporelle passée des précipitations ainsi qu'une étude prospective sur la période 2032–2041 à partir d'un modèle climatique régional.

DONNEES ET METHODES

Situation géographique de la zone d'étude

La zone d'étude s'étend sur quatre pays (Mali, Côte d'Ivoire, Burkina-Faso et Guinée Conakry). A l'exutoire du bassin, le bassin du Bani couvre une surface d'environ 130 000 km². Il est parcouru par différents cours d'eau dont les principaux sont la Bagoé, le Banifing et le Baoulé qui forment, après leur confluence, le Bani. Ce cours d'eau est le principal affluent de la partie supérieure du fleuve Niger. Le bassin versant du Bani est sous l'influence de trois régimes pluviométriques différents, du nord au sud, sahélien, soudano-sahélien et guinéen). Le sud reçoit environ 1800 mm en moyenne annuelle (1950–2006), alors qu'au nord il pleut environ 470 mm/an.

Données

La présente étude se base sur deux jeux de données météorologiques quotidiennes. L'un est issu des observations de 90 stations pluviométriques pour une chronique 1950–2006, et l'autre provient d'une sortie d'un modèle climatique régional pour une chronique 2031–2042.

Les données journalières observées proviennent des services nationaux des pays concernés. Les données ont été vérifiées mais on ne peut assurer une totale absence d'erreurs dans le fichier utilisé. Les données pluviométriques proviennent de la banque de données SIEREM (www.hydrosciences.fr/sierem/) centralisant des données issues des Services nationaux gérant les réseaux de mesures météorologiques et hydrologiques. Afin d'étudier l'évolution des précipitations sur ce bassin nous avons sélectionné, au sein d'une fenêtre régulière englobant le bassin du Bani, 90 stations pluviométriques. Elles ne couvrent pas l'espace de façon très uniforme: la partie nord a un réseau de stations plus dense que le sud. Les périodes d'observations des stations de mesures pluviométriques sont très variables. Toutefois, l'évolution temporelle du nombre de stations est comparable. Après l'année 2000 le nombre de stations disponibles chute drastiquement si bien que la partie méridionale ne compte plus alors qu'une à deux stations. Sur la période 1960–2000 le nombre de stations disponibles est maximal, entre 68 et 89 stations.

Les données journalières du futur ont été générées par le Centre de Recherche de Climatologie de Dijon à partir du modèle climatique régional WRF (Weather Research and Forecasting) en prenant pour période de référence la décennie 1981–1990 (Vigaud *et al.*, 2009). Aux bornes du domaine le modèle régional a été alimenté par le modèle Arpège-Climat de Météo-France (scénario "A2").

Interpolation spatiale

Pour la période 1950–2006, les précipitations ont été spatialisées sur un maillage régulier de 0.5° × 0.5° (64 mailles). Nous avons utilisé quatre méthodes: Spline (Briggs, 1974), Inverse de la distance pondérée au carré (Davis, 1986; Franke, 1982), Krigeage (Cressie, 1990) et plus proche voisin. L'interpolation spatiale a été menée au pas de temps quotidien à partir des stations de mesures disponibles à chaque itération. Ces méthodes ont été choisies car elles sont communément utilisées pour des recherches en climatologie diagnostique. Plusieurs grilles de données de pluie au pas de temps journalier et au pas d'espace du 0.5 degré carré sont donc disponibles de 1950 à 2006. Dans les légendes des figures qui suivent "K" désigne Krigeage, "S" Spline, "I" Inverse de la Distance Pondérée et "N" Plus Proche Voisin.

Variables d'étude

Les variables d'études sont l'évolution temporelle des cumuls annuels de précipitations, la répartition spatiale des isohyètes annuelles, la variabilité intra-saisonnière, le nombre de jours secs,

les séquences sèches et des indices de sécheresse. Une séquence est dite sèche si pendant trois jours consécutifs (au moins) aucune pluie n'est tombée. Une étude sur la contribution des jours de faible (<5 mm), moyenne (5–20 mm) et forte (>20 mm) pluviométrie au nombre total de jours de pluie a également été réalisée.

Indices de sécheresse

Afin d'étudier la vulnérabilité des ressources en eau, nous avons choisi de travailler sur deux indicateurs de sécheresse. Le premier indice utilisé est le Standardized Precipitation Index (SPI), fréquemment utilisé dans la littérature pour l'étude des sécheresses (Rouault & Richard, 2003). Le second est l'Effective Drought Index (EDI) dont le calcul est exposé dans Byun & Wilhite (1999). Cet indice est basé sur le principe de "précipitation effective" qui consiste à calculer en chaque jour une valeur d'eau disponible en prenant en compte les précipitations des jours passés.

RESULTATS ET CONCLUSION

Malgré des différences d'amplitude, les méthodes de spatialisation employées font apparaître les mêmes grands traits de l'organisation des champs de pluie. A l'instar de l'Afrique de l'Ouest subsaharienne, les résultats montrent sur le Bani une diminution pluviométrique importante au cours de la période 1970–2000 par rapport aux années 1950 à 1969. La diminution relative des cumuls annuels des précipitations est plus importante dans le centre du bassin qu'à ses extrémités nord et sud (Fig. 1(e)). Toutefois, on constate une légère reprise des précipitations depuis le début des années 90 même si la moyenne sur la période 1990–2006 ne dépasse pas celle des années 70. Ce retour à des années plus humides est particulièrement sensible sur la partie nord du bassin (Fig. 1(b)–(d)). A l'échelle du bassin le déficit pluviométrique semble imputable à la combinaison de quatre facteurs.

Tout d'abord l'étude de la variabilité intra-saisonnière a révélé un cœur de la saison des pluies significativement moins arrosé (août-septembre) ainsi qu'une fin de saison des pluies plus précoce et moins humide (Fig. 2).

Le nombre de séquences sèches a également été en forte augmentation, principalement sur les zones sahéliennes et soudano-sahélienne du bassin (Fig. 3). Au-delà de 2000, les méthodes

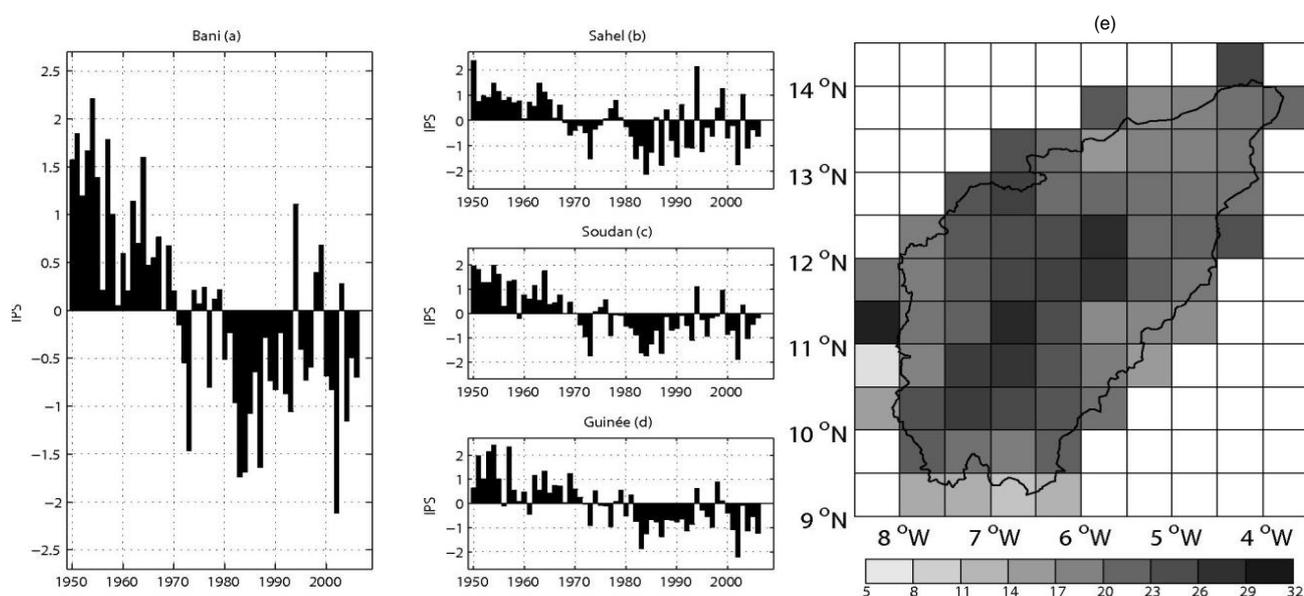


Fig. 1 Méthode du "plus proche voisin": (a) indice standardisé de précipitations calculé sur l'intégralité des points de grille du bassin versant du Bani (1950–2006). (b), (c) et (d) Idem pour la partie sahélienne, soudano-sahélienne et soudano-guinéenne du bassin. (e) Différence relative des précipitations moyennes annuelles entre les périodes 1950–1969 et 1970–2000 (%).

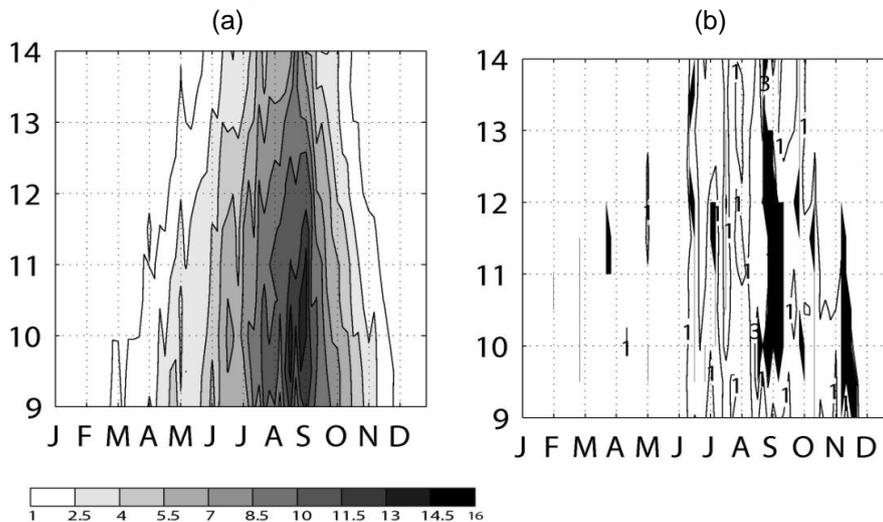


Fig. 2 Méthode du Krigeage: (a) diagramme Hovmoeller temps/latitude des données de précipitations pentadaires (mm/jour) moyennées entre 8.5°O et 3.5°E sur la période 1950–1969. (b) Différence entre la période humide (1950–1969) et la période sèche (1970–2000). Les zones ombrées indiquent les différences significatives au regard du test de Student (5%).

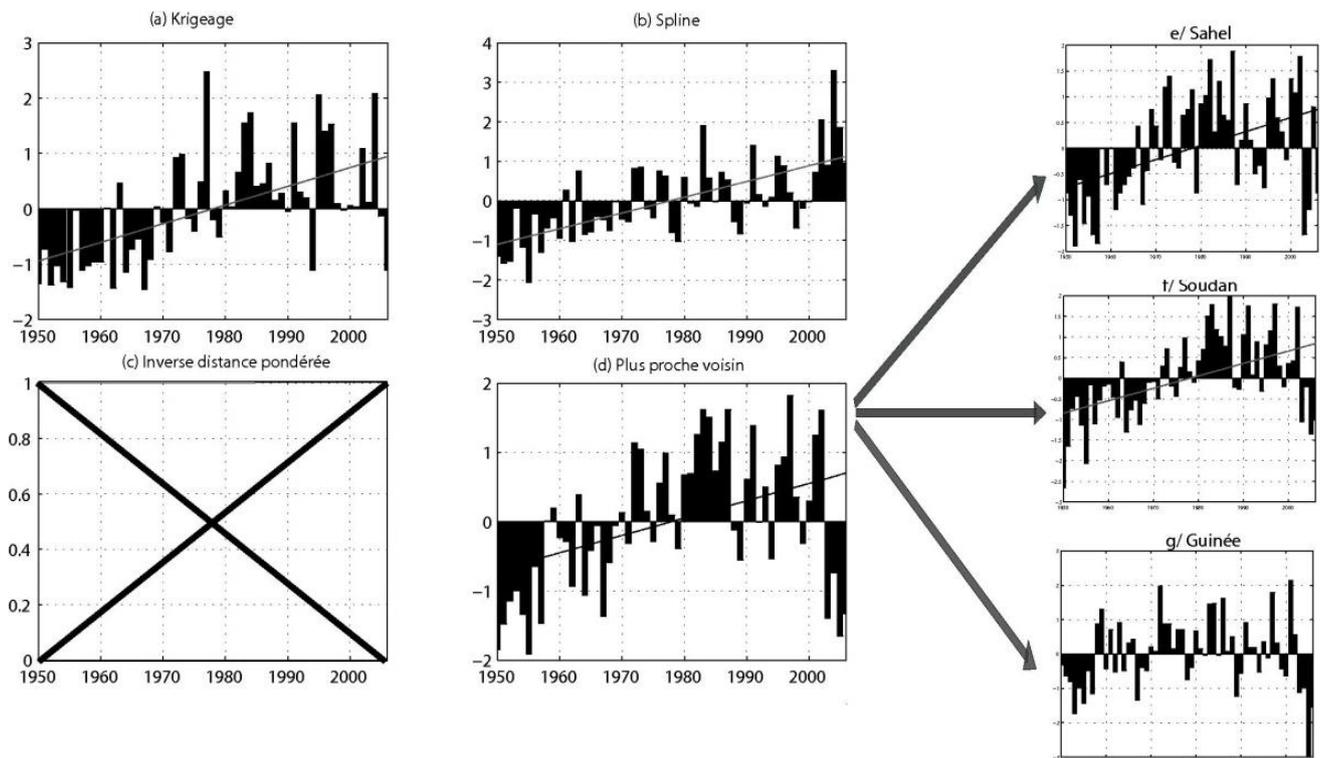


Fig. 3 (a)–(d) Anomalies centrées-réduites du nombre de séquences sèches (3 jours consécutifs sans pluie) et droite de tendance associée (si test de Mann-Kendall significatif au seuil de confiance de 5%) respectivement calculées sur K, S, I et N à l'échelle du Bani. (e)–(g) Idem pour les parties sahélienne, soudanienne et guinéenne (méthode du plus proche voisin).

d'interpolation divergent, ce qui peut être dû au faible nombre de données disponibles évoqué ci-dessus. La méthode Inverse de la distance pondérée ne permet pas de déterminer des séquences sèches: pour qu'il y ait des jours sans pluie il faut que toutes les stations utilisées pour l'interpolation connaissent concomitamment un jour sans pluie.

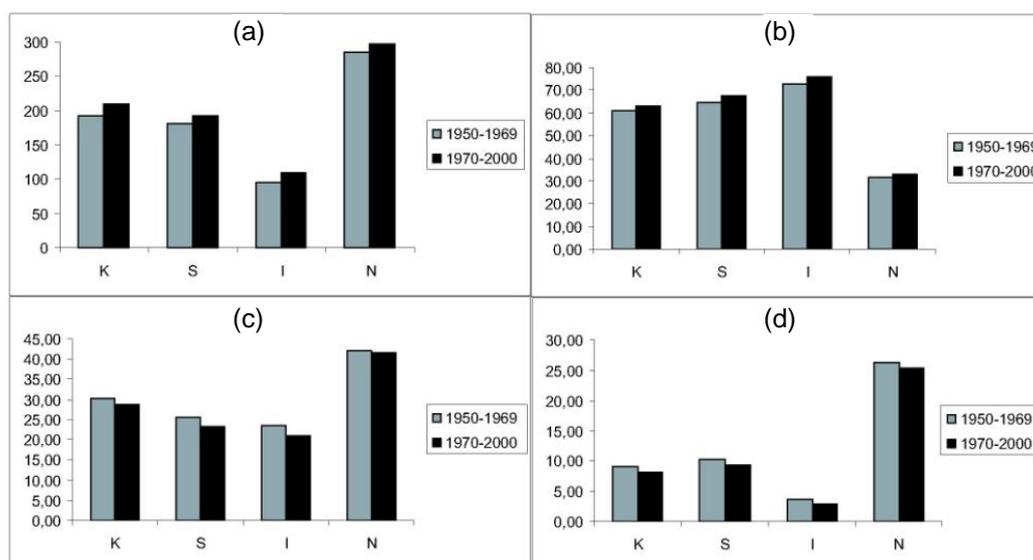


Fig. 4 (a) Nombre de jour sec moyen par an. (b) Contribution (%) du nombre de jours de pluie <5 mm au nombre total de jours de pluie; (c) idem pour la catégorie (5–20 mm); et (d) idem pour la catégorie >20 mm.

Par ailleurs, on note pendant la période sèche (1970–2000) un plus grand nombre de jours secs que pendant la période humide (1950–1969) ainsi que des jours pluvieux donnant des hauteurs précipitées moindres (augmentation de la contribution du nombre de jours de faible pluviométrie au nombre total de jour de pluie, contrairement aux jours de moyenne et forte pluviométries, Fig. 4 (b)–(d)). Selon la méthode de spatialisation, les chiffres varient énormément sur le type de jour pluvieux et le nombre de jours secs ; seules, les tendances sont les mêmes. La méthode du plus proche voisin se distingue ici des autres du fait qu'elle ne lisse pas spatialement les champs de précipitations.

L'étude des indicateurs de sécheresse EDI et SPI nous apprend que c'est principalement dans le centre du bassin (entre 11°N et 13°N environ) que la durée maximale des sécheresses a le plus augmenté entre les périodes humide et sèche (Fig. 5). Encore une fois la péjoration pluviométrique semble avoir plus affecté la partie centrale du bassin que ses extrémités nord et sud.

Les résultats de la modélisation régionale à l'horizon 2032–2041 par rapport à la période 1981–1990 montrent une reprise significative des précipitations sur environ un tiers du bassin (centre et extrémités nord et sud du bassin, Fig. 6(a)). Notons au nord du bassin des différences pouvant aller jusqu'à plus de 30%. Au cours de la saison des pluies (Juin à Septembre) les séquences sèches seraient moins nombreuses sur une grande partie du bassin avec en moyenne plus de trois séquences de différence. Enfin, l'analyse des indicateurs de sécheresse (nombre moyen de jours classés en sécheresse) révèle une diminution des sécheresses sur toute la partie ouest du bassin par l'EDI. Selon le SPI cette diminution du nombre moyen de jour classé en sécheresse affecterait la quasi-intégralité de notre zone d'étude. Rappelons toutefois que ces différences sont calculées par rapport à la décennie la moins pluvieuse du 20ème siècle.

Ces différents constats, notamment la particularité climatique de la zone centrale du bassin, incitent à se poser des questions sur l'origine dynamique de l'évolution intra-saisonnière des précipitations. Il conviendrait par exemple de faire une étude sur la migration latitudinale de la Zone de Convergence Inter-tropicale (ZCIT), de l'intensité des mouvements convectifs au sein de la ZCIT, des trajets préférentiels des déplacements des lignes de grain. L'étude des flux d'humidité atmosphérique et de l'évolution des contrastes énergétiques continent–océan (Golfe de Guinée mais aussi Méditerranée) permettrait également d'apporter quelques réponses aux questions soulevées.

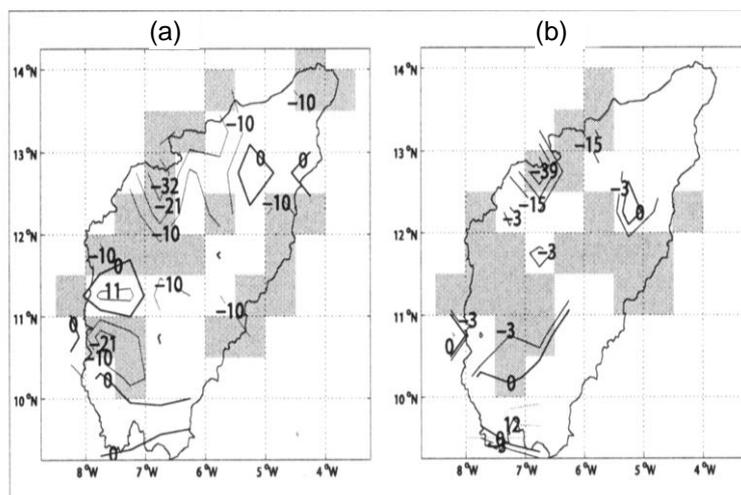


Fig. 5 Méthode du plus proche voisin: (a) différence entre les durées maximales des sécheresses estimées par l'EDII0j (jours consécutifs ayant un EDI < 0) entre Juin et Septembre des périodes 1950–1969 et 1970–2000; les zones ombrées indiquent les différences significatives au regard du test de Student (5%). (b) Idem pour le SPI10j maximal.

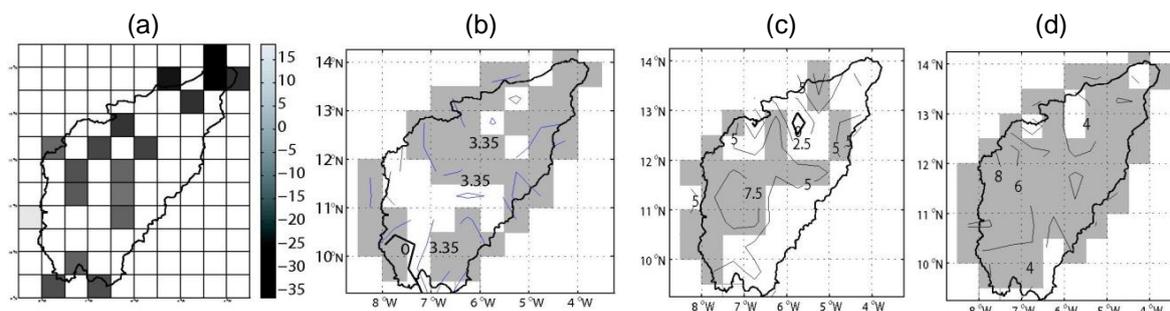


Fig. 6 (a) Différence entre les cumuls pluviométriques annuels des périodes 1981–1990 et 2032–2041; (b) différence entre le nombre moyen de séquence sèche (3 jours) entre Juillet et Septembre des périodes 1981–1990 et 2032–2041; les zones ombrées indiquent les différences significatives au regard du test de Student (5%). (c) Idem pour l'EDII0j moyen. (d) Idem pour le SPI10j moyen. Les données de la période 1981–1990 sont issues de l'interpolation faite par la méthode du plus proche voisin.

BIBLIOGRAPHIE

- Briggs, I. C. (1974) Machine contouring using minimum curvature. *Geophysics* **39**, 39–48.
- Cressie, N. A. (1990) The origins of kriging. *Mathematical Geology* **22**, 239–252.
- Davis, J. C. (1986) *Statistics and Data Analysis in Geology*. John Wiley and Sons, 656 p.
- Folland, C. K., Palmer, T. N. & Parker, D. E. (1986) Sahel rainfall and worldwide sea temperature. *Nature* **320**, 602–607.
- Franke, R. (1982) Scattered data interpolation: test of some methods. *Mathematics of Computations* **33**, 181–200.
- Redelsperger, J. L., Thorncroft, C. D., Diedhiou, A., Lebel, T., Parker, D. J. & Polcher, J. (2006) African monsoon multidisciplinary analysis—an international research project and field campaign. *Bull. Am. Met. Soc.* **87**, 1739–1746.
- Rouault, M. & Richard, Y. (2003) Intensity and spatial extension of drought in South Africa at different time scales. *Water SA* **29**, 489–500.
- Vigaud, N., Roucou, P., Fontaine, B., Sijikumar, S. & Tyteca, S. (2009) WRF/ARPEGE-CLIMAT simulated climate trends over West Africa. *Climate Dynamics* **10**, doi:10.1007/s00382-009-0707-4.