

Le fleuve Niger et le changement climatique au cours des 100 dernières années

G. MAHE¹, G. LIENOU², F. BAMBA³, J. E. PATUREL⁴, O. ADEAGA⁵,
L. DESCROIX⁶, A. MARIKO⁷, J. C. OLIVRY⁸, S. SANGARE⁹, A. OGILVIE¹⁰
& J. C. CLANET¹⁰

1 IRD, Université Mohamed V Agdal, BP 8967, 10 000 Rabat Agdal, Morocco
gil.mahe@ird.fr

2 Université Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun

3 Ecole Nationale d'Ingénieurs, Bamako, Mali

4 HydroSciences Montpellier, France

5 University of Lagos, Lagos, Nigeria

6 LTHE, Grenoble, France

7 Université de Bamako, Bamako, Mali

8 Carqueiranne, France

9 DNH, Conakry, Guinea

10 G-EAU joint research unit, IRD, Montpellier, France

Résumé Le bassin du fleuve Niger couvre 1.2 millions km² et s'étend sur neuf pays en Afrique de l'Ouest. Son débit moyen à l'exutoire maritime est d'environ 6000 m³ s⁻¹. La crue sur le cours principal en amont est formée au cours des 6–7 mois de la saison des pluies tropicales. Le régime hydrologique a évolué en raison du changement climatique et des impacts anthropiques. Il n'y a que peu de barrages sur le fleuve Niger, et les futurs ouvrages planifiés vont modifier son régime et les zones inondées. L'objectif de cette étude est de donner un aperçu global des changements hydrologiques du régime du Niger dans ses différents sous-bassins, afin d'évaluer les impacts des changements futurs. Les séries chronologiques à Koulikoro et pour les bassins amont montrent une forte variabilité interannuelle des débits depuis 1907, et une diminution profonde depuis 1970. Le déficit d'écoulement du Bani après 1970 est supérieur à celui des pluies, en raison de la baisse du niveau des eaux souterraines. A partir des images NOAA 1990–2000, on constate que les surfaces inondées ont diminué dans le Delta Intérieur. La crue sahélienne du Burkina-Faso et du Niger et celle de la rivière Sokoto au Nigéria a augmenté en raison de la dégradation des terres, en dépit de la baisse des pluies. Aujourd'hui, plus de la moitié du débit du bas Niger vient de la rivière Bénoué. Pour les bassins du Sahel, l'augmentation des eaux de ruissellement peut être étroitement liée à la déforestation. Mais la baisse très importante du niveau des eaux souterraines semble être liée au changement climatique. Les prochains grands changements viendront des futurs barrages, qui réduiront le pic de crue et les surfaces inondées, mais auront également des effets positifs pour la mobilisation des ressources en eau.

Mots clefs Niger; Afrique de l'Ouest; changements climatiques; écoulement; Delta Intérieur; barrage

The River Niger and climate change over 100 years

Abstract The Niger River basin covers 1.2 million km² and extends over nine countries in West Africa. Its average discharge to the sea is about 6000 m³ s⁻¹. The main upstream flood is produced during the 6–7 months of the tropical rainy season. The hydrological regime has been modified due to climatic and anthropogenic changes. There are only a few major dams on the River Niger, and future development plans will modify its regime and the flooded areas. The goal of this study is to provide a comprehensive overview of the hydrological changes of the Niger regime in its different sub-basins, in order to assess the impacts of future changes. The time series at Koulikoro and for the upstream basins show a high interannual flow variability since 1907, and a strong decrease since 1970. The runoff deficit in the Bani River after 1970 is greater than the rainfall deficit, due to a decrease in the groundwater level. NOAA images for 1990–2000 indicate that the flooded surfaces have decreased in the Inner Delta. The Sahelian flood from rivers in Burkina-Faso and Niger, and from the Sokoto River in Nigeria, has increased due to land degradation, despite the reduced rainfall. Now, more than half of the water of the Lower Niger comes from the Benue River. For the Sahelian basins, the increase in runoff can be closely related to the deforestation, but the dramatic decrease of the groundwater levels seems to be related to climate change. In the future, large changes will come from the proposed dams, which will reduce the flood peaks and the flooded surface areas, but will also have positive effects on the management of water resources.

Key words River Niger; West Africa; climate change; runoff; Inner Delta; dam

INTRODUCTION

Le Niger est le troisième fleuve d'Afrique par sa longueur (4200 km) (Fig. 1). Son bassin occupe une surface très importante d'environ 1.2 million km² et est partagé par neuf états. La gestion de ses ressources en eau est confiée à un organisme inter-état: l'Autorité du Bassin du Niger (ABN), basée à Niamey. C'est un fleuve très important pour un grand nombre d'activités économiques et agricoles, pour l'alimentation en eau potable et la production d'hydro-électricité. Il est de ce fait très surveillé et fait l'objet de très nombreuses études. Dans le domaine de l'hydrologie ces études ont porté tant sur l'évaluation de la ressource en eau que sur des projets d'aménagements potentiels dans les domaines hydro-agricole et hydroélectrique ou encore sur la propagation des crues (Brunet-Moret *et al.*, 1986; Bricquet *et al.*, 1996; Sangaré *et al.*, 2002; Kuper *et al.*, 2003; Patrel *et al.*, 2007; Conway et Mahé, 2009; Mahé *et al.*, 2009; Liéno *et al.*, 2010; Ogilvie *et al.*, 2010; Mulligan *et al.*, 2011).

La baisse durable des pluies dans toute la région depuis 1970 a entraîné des modifications de régime du fleuve. Le niveau des nappes a considérablement chuté dans les régions humides, entraînant une baisse accrue des débits (Mahé, 2009), tandis que dans les régions sahéliennes les coefficients d'écoulement augmentent (Mahé & Patrel, 2009). Le régime du fleuve a ainsi été profondément modifié tout le long de son cours. Le débit de la Bénoué a beaucoup moins diminué, entre autre du fait d'une moindre baisse des pluies. Les grands barrages modifient déjà le régime du fleuve en particulier au Nigéria, mais la régulation va s'accroître dans le bassin amont, avec la construction de nouveaux aménagements. Alors que le climat a déjà fortement changé dans la région, quelle est la situation actuelle du régime hydrologique du fleuve Niger, et comment peut-on envisager son évolution dans la perspective de la construction de nouveaux aménagements, en particulier pour les grandes zones inondées comme le Delta Intérieur?

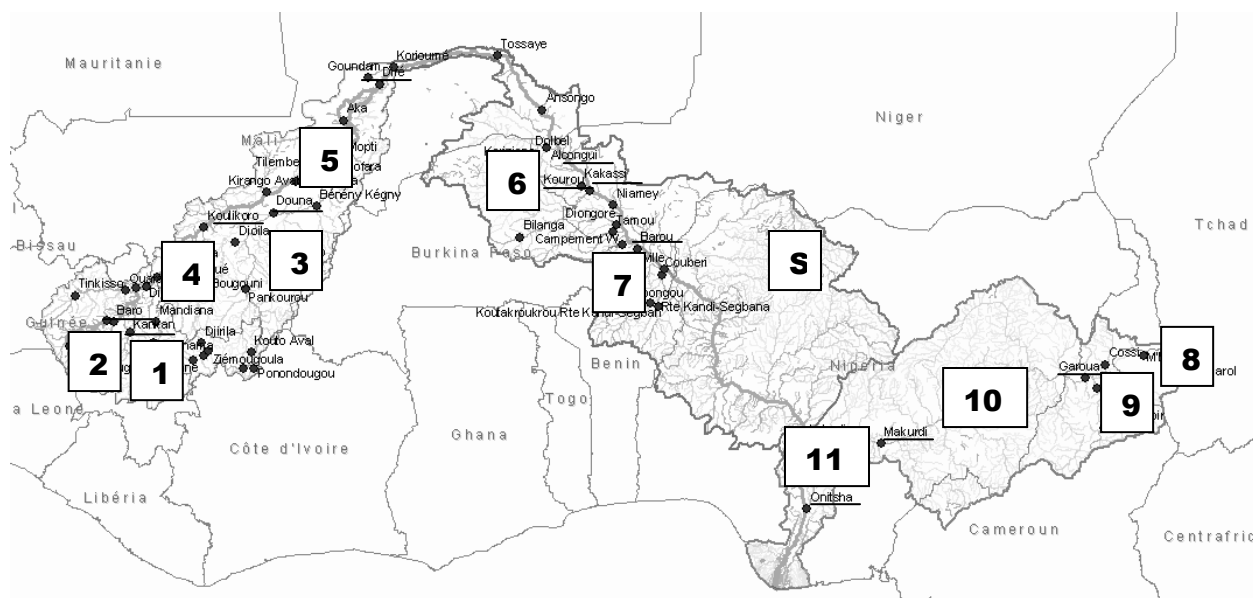


Fig. 1 Le bassin versant du Niger d'après Boyer *et al.* (2006). Les stations étudiées dans l'article sont soulignées et la position des bassins est représentée par un nombre.

BASSINS ET DONNEES

Le fleuve Niger est en fait constitué de deux grandes rivières, le fleuve Niger proprement dit, provenant de Guinée et du Mali et traversant l'Afrique de l'Ouest, et la Bénoué, provenant du Tchad et du Cameroun et rejoignant le fleuve au Nigéria, peu avant le delta maritime. Les principales stations hydrométriques sont indiquées sur la Fig. 1. Un débit important se forme dans

les monts de Guinée en régime tropical humide, puis traverse le delta intérieur diminuant alors de 25 à 50% par évaporation (Fig. 2, adaptée de Ogilvie *et al.*, 2010). Au sortir des monts de Guinée, Koulikoro est la station la plus ancienne du fleuve avec des données de débit datant du début du 20ème siècle. Deux autres stations sont très anciennes, Mopti et Diré, en entrée et en sortie du Delta Intérieur, toujours au Mali. Dans sa partie moyenne le fleuve Niger reçoit des affluents principalement sahéliens en rive droite, dont les apports précèdent la crue amont. Le débit du Niger augmente au Nigéria puis la Bénoué rejoint le fleuve un peu en amont du delta maritime. Bricquet *et al.* (1996) ont montré sur la station de Koulikoro les changements climatiques et la modification du régime hydrologique du fleuve depuis 1970.

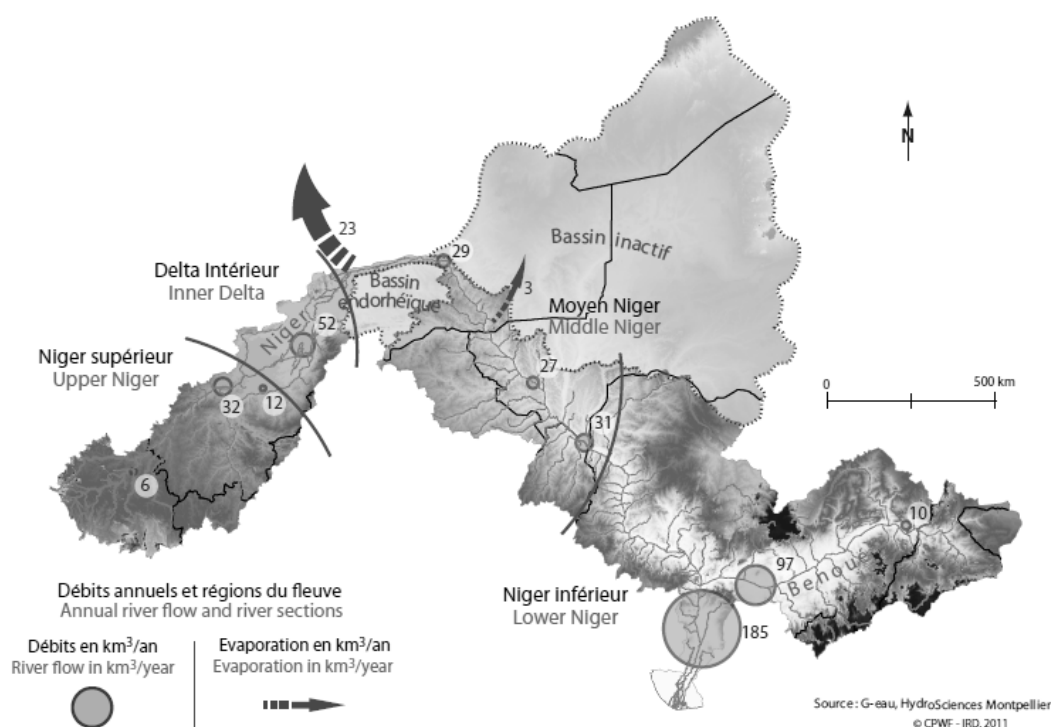


Fig. 2 Les grandes régions du bassin du Niger. Débits et évaporation moyens à certaines stations.

EVOLUTION DES DEBITS

Les débits annuels varient fortement à toutes les stations (Fig. 3). Les débits maximum ont été enregistrés dans les années 1920 et les années 1950. Dès les années 1960, les débits ont diminué à toutes les stations. La baisse a été importante dans les années 1970 et s'est amplifiée durant les années 1980, avant de retrouver des valeurs un peu plus élevées dans les années 1990. Pour la Bénoué à Makurdi, la baisse des années 1980 n'a pas été aussi forte que pour les autres bassins de Koulikoro et Diré sur le bassin amont guinéen.

Ceci est consécutif à une moindre baisse des pluies dans l'est du Nigéria et le centre nord du Cameroun. La seule exception à cette situation est l'augmentation des débits des bassins Sahéliens de rive droite du fleuve Niger, au Burkina-Faso, au Niger et un peu au Mali, dès les années 1970, amplifiée encore dans les années 1990. Ces observations sont corroborées au Mali par l'augmentation des écoulements dans la région endoréique du Gourma (Gardelle *et al.*, 2010), en continuité de ce qu'ont trouvé Leduc *et al.* (2001).

Les débits diminuent très fortement après 1970 (Tableau 1), aussi bien sur le haut bassin du Niger en Guinée (-27% et -31%) et au Mali (-63% pour le Bani à Douna, ce qui est le record de baisse enregistré en Afrique de l'Ouest et Centrale), qu'à la station de Diré, à l'aval du Delta Intérieur du Niger (-40%). En passant au Sahel, le fleuve Niger reprend un peu de vigueur, ce qui

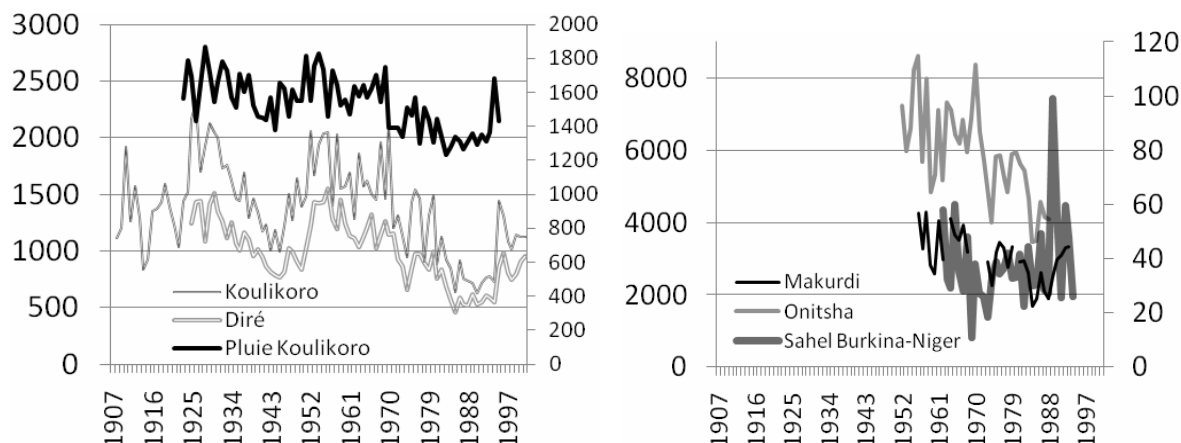


Fig. 3 A gauche: débits annuels en m^3/s aux stations de Koulikoro et Diré sur le fleuve Niger de 1907–2000, et pluies en mm sur le bassin de Koulikoro de 1923–1995 (ordonnée à droite). A droite: débits aux stations de Makurdi et Onitsha sur le fleuve Niger (ordonnée à gauche), et débits du groupe de stations “Sahel Burkina-Niger” (ordonnée à gauche).

Tableau 1 débits moyens pour deux périodes avant (jusqu’à 1969) et après la sécheresse (après 1970) et pour 11 bassins principaux du fleuve Niger (voir Fig. 1).

Bassin	Niger	Niger	Niger	Niger	Niger	Niger	Niger	Bénoué	Bénoué	Bénoué	Niger
Rivière	Milo	Niandan	Bani	Niger	Niger	Bassin sahélien	Mekrou	Mayo Kébi	Bénoué	Bénoué	Niger
Station	Kankan	Baro	Douna	Koulikoro	Diré	Rive droite	Barou	Cossi	Garoua	Makurdi	Onitsha
Pays	Guinée	Guinée	Mali	Mali	Mali	Burkina-Niger	Niger	Cameroun	Cameroun	Nigéria	Nigéria
Surface (km ²)	9900	12 600	101 600	120 000	366 500	90 500	10 500	25 100	64 000	303 600	1 388 300
Numéro Fig. 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Années obs.	1950–2000	1950–2000	1922–2000	1907–2000	1924–2000	1956–1995	1961–1999	1955–2000	1946–1991	1955–1995	1950–1987
moy(–69)	211	271	639	1552	2244	35.4	41	104	388	3549	6651
moy(70–)	155	186	235	1039	1349	38.0	23	74	244	2816	5016
(70–)/(–69)%	–27	–31	–63	–33	–40	+7	–42	–30	–37	–21	–25

est paradoxal car c’est la zone la plus sèche du bassin. Cet apport soutenu des affluents sahéliens durant la période de sécheresse a provoqué le changement de régime du Niger à Niamey (Mahé *et al.*, 2003), dont la crue estivale due à ces affluents de rive droite est maintenant fréquemment supérieure à la crue du bassin amont. Au Nigéria les débits de la rivière Sokoto (S, Fig. 1) ont pu être étudiés par différence entre ceux de Malanville avant la frontière et Yidéré Bodé au Nigéria (étude en cours). Ils montrent, comme ceux des affluents sahéliens de rive droite, une augmentation. La baisse des débits à Garoua sur le bassin amont de la Bénoué reste importante (–37%), mais elle est rapidement compensée par les apports en eau de la partie nigériane du bassin de la Bénoué (–21% seulement à Makurdi).

Au total le Niger à Onitsha draine en moyenne près de 6000 m^3/s au golfe de Guinée, accusant une baisse de 25% en moyenne depuis 1970. Il faut remarquer également que depuis la sécheresse, les débits de la Bénoué sont supérieurs à ceux du fleuve Niger en amont de la confluence à Lokoja au Nigéria.

BREVE ANALYSE DES RESULTATS

Il a déjà été montré dans les références citées plus haut, que la baisse amplifiée des débits est due en grande partie à la baisse durable du niveau des nappes, dont les réserves alimentent de moins en

moins les écoulements de base. Ces écoulements de base manquent également pendant le passage du maximum de crue, entraînant des hauteurs de crue plus faibles, et des étiages plus précoces et plus prononcés. Cette hypothèse a été avancée par Olivry *et al.* (1993), et confirmée par Mahé *et al.* (2000) et Mahé (2009).

Concernant l'augmentation des débits en région sahélienne, ils sont dus à la dégradation des états de surface, consécutive essentiellement à l'augmentation des zones cultivées et sols nus, au détriment des zones en végétation naturelle (Mahé *et al.*, 2005; Diello *et al.*, 2006), et à l'augmentation des écoulements de type rapide (Descroix *et al.*, 2009).

PERSPECTIVES D'EVOLUTIONS DANS LE CADRE DE FUTURS AMENAGEMENTS

Il y a assez peu de grands barrages en Afrique de l'Ouest (Fig. 4, adaptée de Clanet & Ogilvie, 2009). Concernant les ouvrages sur le bassin du Niger, la majeure partie est au Nigéria. Un seul grand barrage est situé au Mali (Sélingué) dans la partie amont du fleuve mais reste de volume modeste. La Bénoué est également barrée par un seul grand barrage situé au Cameroun (Lagdo). Les projets de barrage sont nombreux en Guinée et au Mali (Liéno *et al.*, 2010). Ceux qui verront le jour modifieront de façon importante le régime du fleuve Niger. Un des sites qui sera le plus impacté sera le Delta Intérieur du fleuve Niger au Mali, entre Mopti et Tombouctou (Fig. 2). Une étude a mis en évidence les surfaces inondées par analyse des images NOAA entre 1990 et 2000 (Mariko *et al.*, 2004).

La Fig. 5 montre la variabilité des surfaces inondées dans le delta. On retrouve les surfaces observées, et celles reconstituées par corrélation avec les hauteurs d'eau aux stations de Mopti et Diré. On y voit que les surfaces inondées ont considérablement diminué depuis la sécheresse, passant de près de 30 000 km² à moins de 10 000 km² pendant les années 1980 et début 1990. Du fait de la baisse du niveau des nappes dans le bassin amont, les pluies abondantes de la fin des années 1990 n'ont pas pu faire remonter le niveau de l'inondation à celui antérieur à la sécheresse. Les aménagements prévus vont diminuer les surfaces inondées naturelles dans cette région, au profit en partie d'une augmentation des surfaces irriguées.

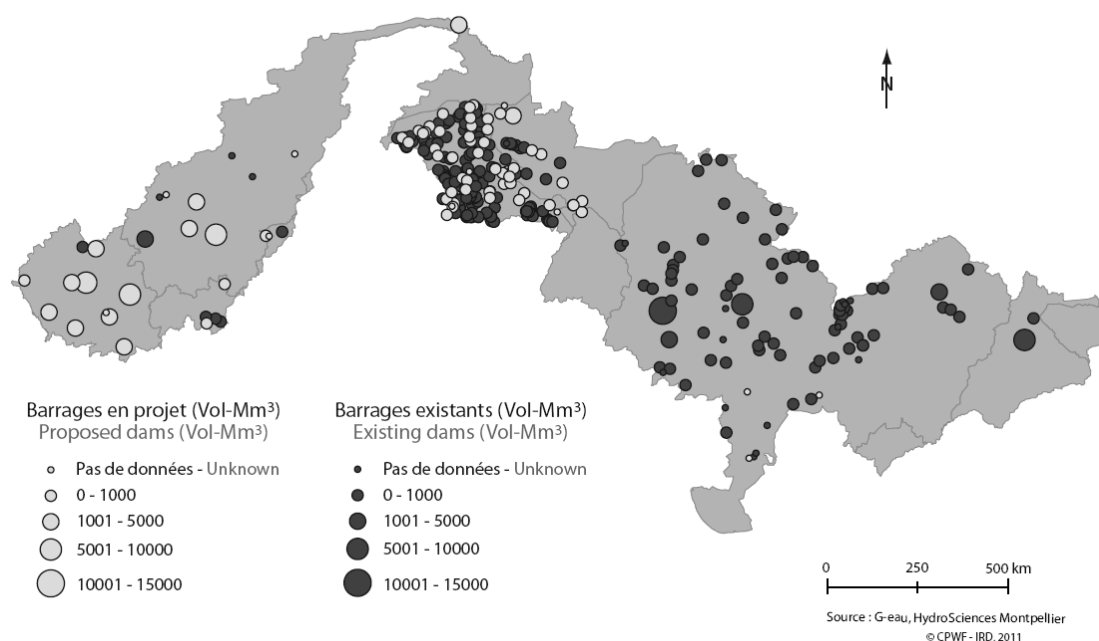


Fig. 4 Emplacement des barrages les plus importants dans le bassin du fleuve Niger.

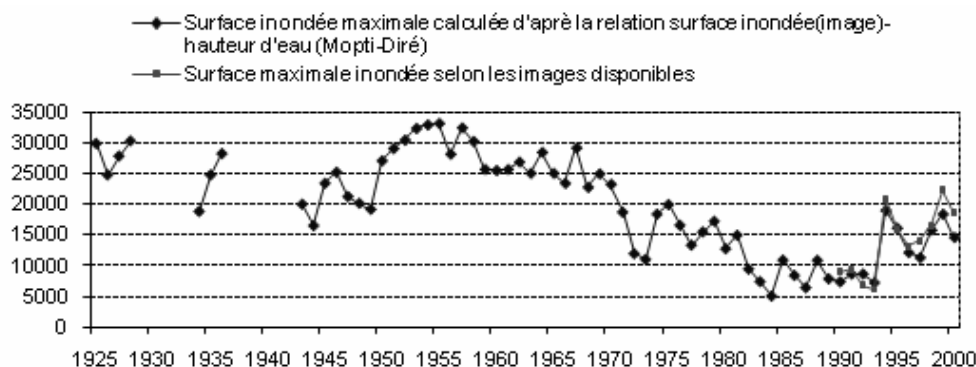


Fig. 5 Surfaces inondées observées par satellite et reconstituées par relation surface inondée/hauteur aux échelles de Mopti et Diré, en milliers de km².

CONCLUSION

Les débits du fleuve Niger sont connus depuis plus d'un siècle à la station de Koulikoro au Mali. Le régime du fleuve est très sensible aux variations climatiques. La sécheresse depuis 1970 a modifié considérablement les débits du fleuve à toutes les stations. Le Niger apporte moins d'eau au Sahel depuis 40 ans, mais paradoxalement le Sahel en produit plus, du fait de la dégradation des états de surface. Les évolutions du climat régional devraient continuer à modifier le régime du fleuve (Ardoin-Bardin *et al.*, 2009). Cependant, il semble que ce sont les aménagements prévus, surtout sur le bassin amont, qui vont impacter plus fortement encore l'inondation du delta intérieur du Niger.

REFERENCES

- Ardoin-Bardin, S., Dezetter, A., Servat, E., Paturel, J. E., Mahé, G., Niel, H. & Dieulin, C. (2009) Using general circulation model outputs to assess impacts of climate change on runoff for large hydrological catchments in West Africa. *Hydrol. Sci. J.* **54**(1), 77–89.
- Boyer, J. F., Dieulin, C., Rouché, N., Crès, A. Servat, E. Paturel, J. E. & Mahé, G. (2006). SIEREM: an environmental information system for water resources. In: *Climate Variability and Change – Hydrological Impacts* (ed. by S. Demuth, A. Gustard, E. Planos, F. Scatena & E. Servat), 19–25. IAHS Publ. 308. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Bricquet, J. P., Mahé, G., Bamba, F. & Olivry, J. C. (1996) Changements climatiques récents et modification du régime hydrologique du fleuve Niger à Koulikoro (Mali). In: *Tropical Hydrology: a Geoscience and a Tool for Sustainability* (ed. by P. Chevallier & B. Pouyaud), 157–166. IAHS Publ. 238. IAHS Press, Wallingford, UK. <http://www.iahs.info/redbooks/238.htm>.
- Brunet-Moret, Y., Chaperon, P., Lamagat, J. P. & Molinier, M. (1986) Monographie hydrologique du fleuve Niger, Tome I: Niger supérieur. Coll. monog. Hydrol. no. 8, ORSTOM, Paris, 396 p.
- Clanet, J.-C. & Ogilvie, A. (2009) *Basin Focal Project Niger*. CPWF Project Report series, Challenge Program on Water and Food, Colombo, Sri Lanka, 124pp.
- Conway, D. & Mahé, G. (2009). Riverflow modelling in two large river basins: the Parana (subtropical) and the Niger (tropical). *Hydrol. Processes* **23**(22), 3186–3192.
- Descroix, L., Mahé, G., Lebel, T., Favreau, G., Galle, S., Gautier, E., Olivry, J. C., Albergel, J., Amogu, O., Cappelaere, B., Dessouassi, R., Diedhiou, A., Le Breton, E., Mamadou, I. & Sighomnou, D. (2009). Spatio-temporal variability of hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa: a synthesis. *J. Hydrol.* **375**(1-2), 90–102.
- Diello, P., Paturel, J. E., Mahé, G., Karambiri, H. & Servat, E. (2006). Méthodologie et application d'une démarche de modélisation hydrologique prenant en compte l'évolution des états de surface en milieu sahélien d'Afrique de l'Ouest. In: *Climate Variability and Change – Hydrological Impacts* (ed. by S. Demuth, A. Gustard, E. Planos, F. Scatena & E. Servat), 691–697. IAHS Publ. 308. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Gardelle, J., Hiernaux, P., Kergoat, L. & Grippa, M. (2010) Less rain, more water in ponds: a remote sensing study of the dynamics of surface waters from 1950 to present in pastoral Sahel (Gourma region, Mali). *Hydrol. Earth System Sci.* **14**, 309–324.
- Kuper, M., Mullan, C., Poncet, Y. & Benga, E. (2003) Integrated modelling of the ecosystem of the Niger river inland delta in Mali. *Ecol. Model.* **164**(1), 83–102.
- Leduc, C., Favreau, G. & Schroeter, P. (2001) Long-term rise in a Sahelian water-table: the Continental Terminal in South-West Niger. *J. Hydrol.* **243**(1-2), 43–54.
- Lienou, G., Mahé, G., Dieulin, C., Paturel, J. E., Bamba, F., Sighomnou, D. & Dessouassi, R. (2010) The River Niger water availability: facing future needs and climate change. In: *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources* (ed. by E. Servat, S. Demuth, A. Dezetter & T. Daniell), 637–645. IAHS Publ. 340. IAHS Press, Wallingford, UK.

- Mahé G., Bamba F., Soumaguel A., Orange D. & Olivry, J. C. (2009) Water losses in the Niger River inner delta: water balance and flooded surfaces. *Hydrol. Processes* **23**, 3157–3160.
- Mahé, G., Leduc, C., Amani, A., Paturel, J. E., Girard, S., Servat, E. & Dezetter, A. (2003) Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau. In: *Hydrology of Mediterranean and Semiarid Regions* (ed. by E. Servat, W. Najem, C. Leduc & A. Shakeel), 215–222. IAHS Publ. 278. IAHS Press, Wallingford, UK.
- Mahé, G., Olivry, J. C., Dessouassi, R., Orange, D., Bamba, F. & Servat, E. (2000) Relations eaux de surface–eaux souterraines d’une rivière tropicale au Mali. *C. R. Acad. Sciences Série IIa* **330**, 689–692.
- Mahé, G. (2009) Surface/groundwater relationships in two great river basins in West Africa, Niger and Volta. *Hydrol. Sci. J.* **54**(4), 704–712.
- Mahé, G. & Paturel, J. E. (2009) 1896–2006 Sahelian rainfall variability and runoff increase of Sahelian rivers. *C. R. Geosciences* **341**, 538–546.
- Mariko, A., Mahé, G. & Servat, E. (2003) Les surfaces inondées dans le delta intérieur du fleuve Niger au Mali par NOAA/AVHRR. *Bulletin SFPT* **172**, 61–68.
- Mulligan, M., Saenz Cruz, L. L., Pena-Arancibia, J., Pandey, B., Mahe, G. & Fisher, M. (2011) Water availability and use across the Challenge Program on Water and Food (CPWF) basins. *Water Int.* **36**(1), 17–41.
- Ogilvie A., Mahé G., Ward, S., Lemoalle, J., Morand, P., Barbier, B., Diop, T., Caron, A., Namarra, K., Lukasiewicz, A., Paturel, J. E., Liéno, G. & Clanet, J. C. (2010) Water, agriculture and poverty in the Niger River basin. *Water Int.* **35**(5), 594–622.
- Olivry, J. C., Bricquet, J. P. & Mahé, G. (1993) Vers un appauvrissement durable des ressources en eau de l’Afrique humide ? In: *Hydrology of Warm Humid Regions* (ed. by J. S. Gladwell), 67–78. IAHS Publ. 216. IAHS Press, Wallingford, UK. <http://www.iahs.info/redbooks/216.htm>.
- Paturel, J. E., Barrau, C., Mahé, G., Dezetter, A. & Servat, E. (2007) Modelling the impact of climatic variability on water resources in West and Central Africa from a non-calibrated hydrological model. *Hydrol. Sci. J.* **52**(1), 38–48.
- Sangaré, S., Mahé, G., Paturel, J. E. & Bangoura, Y. (2002) Bilan hydrologique du fleuve Niger en Guinée de 1950 à 2000. *Sud Sciences et Technologies*, EIER, Ouagadougou **9**, 21–33.