

Analyse des inondations en aval du barrage de Nangbeto sur le fleuve Mono (Togo et Bénin)

Analysis of flood downstream from the Nangbeto dam on the Mono River (Togo and Benin)

AGO Expédit Evariste ¹, PETIT François ² & OZER Pierre ³

Abstract: The analysis of risk of flood downstream from the hydroelectric dam of Nangbeto in the Mono River was about the survey of interannual variability of rainfall and rivers flows from 1955 to 1999, the population vulnerability, the hydrological modification and the impacts downstream in Togo and Benin from the dam constructed in 1987. The analysis of the mean annual discharge has revealed no tendency, showing thus that the change of land use, the increase of waterproof areas and even the functioning of the hydroelectric dam have not modified in a significant manner the river's rate of flow. Apart from the return to the improvement in rainfall as far back as the end of years 80, the anthropic pressure and the demographic explosion have best explained the magnitude and frequency of flooding downstream from the hydroelectric dam of Nangbeto. The soil degradation, the deforestation of the floodplain, the increase in the number of human settlements in the river boundary increases the vulnerability of population faced with flooding.

Key words: Land use, flooding, basin of Mono River, downstream from hydroelectric dam, modification of hydrological system, Benin -Togo.

Résumé: L'analyse des risques d'inondation en aval du barrage hydroélectrique de Nangbéto sur le fleuve Mono a porté sur les variabilités interannuelles des précipitations et débits de 1955 à 1999, la vulnérabilité des populations, les modifications hydrologiques et les effets en aval au Togo et au Bénin du barrage construit en 1987. L'analyse des modules annuels n'a révélé aucune tendance, montrant ainsi que les changements intervenus dans l'affectation du sol, l'accroissement des surfaces imperméables et même le fonctionnement du barrage n'ont pas modifié de manière significative la variation interannuelle des débits annuels.

Outre le retour à l'amélioration des pluviométries dès la fin des années 80, les pressions anthropiques et la poussée démographique expliquent mieux l'ampleur et la fréquence élevée des inondations en aval du barrage hydroélectrique de Nangbéto. La dégradation des sols, le déboisement des berges du fleuve et des zones inondables, l'augmentation des habitations dans le lit majeur même du fleuve ne font que fragiliser les populations riveraines et accroître leur vulnérabilité face aux inondations.

Mots clés : affectation du sol, inondations, bassin du fleuve Mono, aval du barrage hydroélectrique, modification du régime hydrologique, Bénin -Togo.

¹ Association pour l'Agriculture et le Développement Durable (A2D); 03BP3589 Cotonou, Bénin, e-mail : a2dbenin@yahoo.fr

² Département de Géographie, Université de Liège, Allée du 6 août 2, 4000 Liège, Belgique, e-mail : Francois.Petit@ulg.ac.be

³Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Avenue de Longwy 185, 6700 Arlon, Belgique, e-mail : pozer@ulg.ac.be

INTRODUCTION

Depuis les années 1960, l'aménagement du fleuve Mono a fait objet de plusieurs études pour l'emplacement d'un barrage hydroélectrique et il est apparu que le site le plus favorable à équiper en premier lieu était celui de Nangbéto (SOFRELEC, 1996). Ainsi, en 1987, le Bénin et le Togo ont décidé la construction d'un barrage pour produire de l'électricité, irriguer 43 000 hectares de terres agricoles et réguler les crues. Mais depuis lors, des inondations parfois dramatiques sont encore enregistrées en aval, avec une grande ampleur à en croire les populations (AGO, 2001 ; HACHIMOU, 1995 ; COYNE et BELLIER, 1998).

Ces inondations causent d'énormes dégâts matériels et de nombreuses pertes en vies humaines. Souvent des milliers d'hectares de champs sont submergés tant au Togo qu'au Bénin. Les responsables de la centrale hydroélectrique de Nangbéto ont d'ailleurs indiqué qu'après le lâché effectué le 20 septembre 2003, plusieurs habitations et champs ont été inondés. Des routes ont été endommagées rendant la circulation très difficile et des zones inaccessibles. En outre, les hippopotames, inféodés strictement à l'eau, trouvent souvent leur aire plus étendue et, dans leur quête de nourriture, se rabattent sur les cultures. De ce fait, on enregistre aussi la destruction de plusieurs cultures par les hippopotames pendant et après les inondations (AGO, 2001).

Les causes des inondations font l'objet d'une polémique. Pour les populations, le barrage de Nangbéto en est certainement la cause. Pour d'autres, comme COYNE et BELLIER (1998) ou le gestionnaire du barrage (la Communauté Electrique du Bénin, CEB), c'est le fait des variabilités climatiques. Toutefois, selon SENE et OZER (2002), HOUANYE (2003), MAHE *et al.* (2003) et TARHULE (2005), la composante majeure des récentes inondations en Afrique de l'Ouest résiderait dans l'aggravation de la vulnérabilité.

Cet article présente une analyse des inondations en aval du barrage hydroélectrique de Nangbéto sur une période de 45 ans. Il analyse également l'évolution hydrologique, pluviométrique et de la vulnérabilité. En outre, il tente de faire la part des causes naturelles et anthropiques quant à l'importance des inondations récentes dans la basse vallée du fleuve Mono.

SITE D'ETUDE

Le fleuve Mono prend sa source au nord-ouest du Bénin dans les monts Koura, région de Bassila. Long de 530 kilomètres, il sert de frontière naturelle entre le Togo et le Bénin sur ses 100 derniers kilomètres. Son bassin versant couvre une superficie 25 000 km² entre les latitudes 6°10' et 9°00' Nord et les longitudes 0°30' et 1°50' Est. La portion analysée dans cet article se trouve entre les latitudes 6°10' et 8°00' Nord et les longitudes 1°15' et 1°50' Est (Fig. 1). Le relief peu accidenté est constitué de plaines côtières, de plateaux, de lagunes et de bas-fonds. La végétation est composée de forêts denses semi-décidues, de forêts riveraines, de forêts galeries, de savanes, de jachères, de champs de cultures, de prairies marécageuses et de mangroves (BAGLO, 1989 ; AGO, 1999 ; DAINOU, 2000). Plusieurs ethnies constituées en majorité d'agriculteurs et de pêcheurs vivent dans le bassin versant du fleuve Mono. La densité de population varie entre 70 et 300 habitants/km².

DONNEES ET METHODES

Données

Les données hydrologiques et pluviométriques mensuelles couvrent une période de 45 ans (Tableau 1). Au total, quatre stations pluviométriques et trois stations hydrométriques ont été prises en compte (Fig. 1). A noter que la station de mesure des débits de Nangbéto était unique avant la construction du barrage (1955-1987). Depuis, des mesures sont réalisées en amont et en aval du barrage (1988-1999).

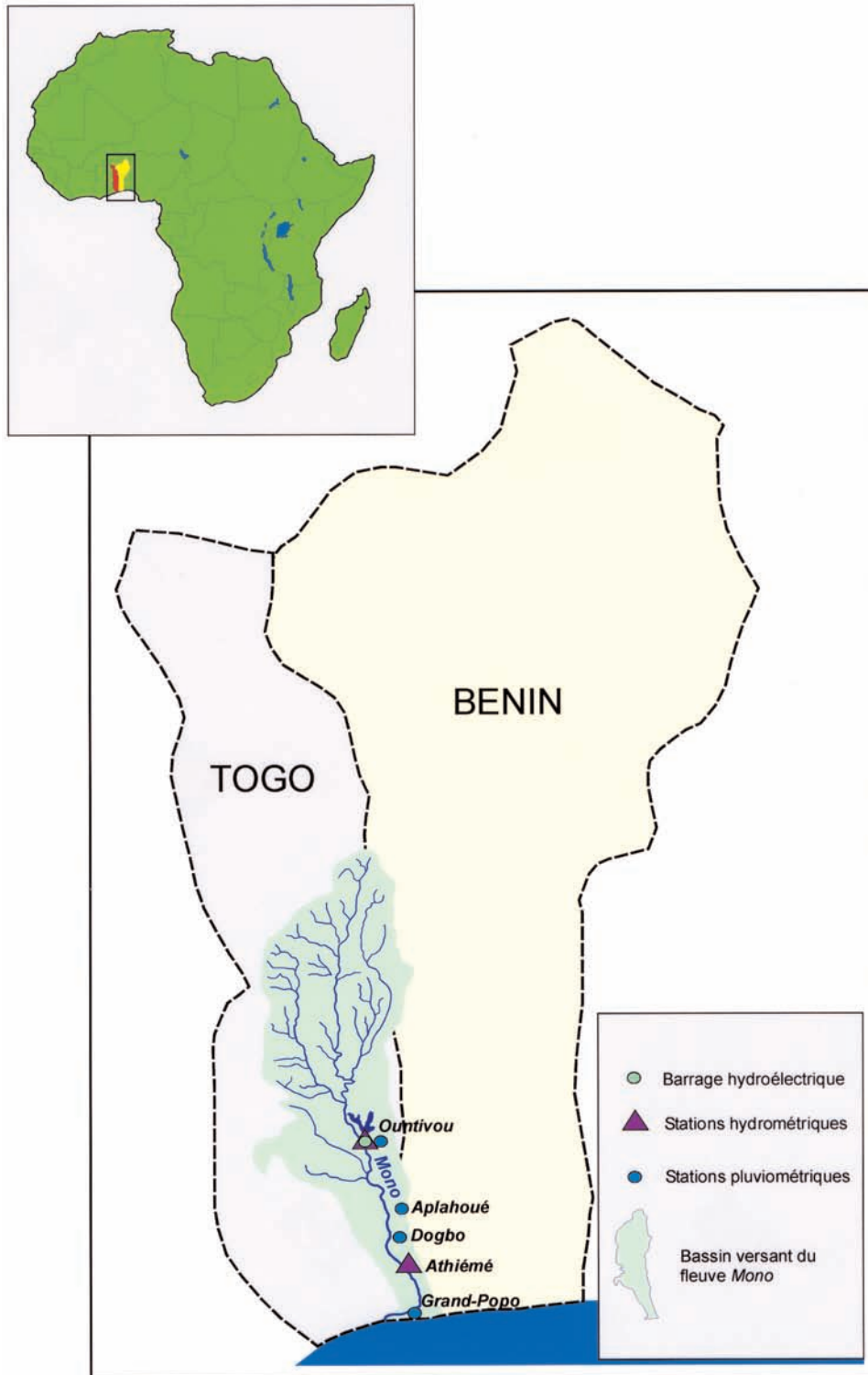


Fig. 1: Localisation de la zone d'étude, de l'emplacement du barrage hydroélectrique de Nangbéto et des différentes stations utilisées dans cette étude.

Les images satellitaires Landsat ETM+ des 13/01/1986 et 13/12/2000 avec 30 mètres de résolution ont été utilisées pour estimer le changement d'affectation du sol à l'aval du barrage de Nangbéto.

Dans le même but, des informations de superficies emblavées ont été collectées au niveau de trois communes en aval du barrage (Lokossa, Athiémé et Grand-Popo) de 1987 à 2004.

Finalement, des statistiques démographiques pour ces mêmes communes ont été collectées auprès de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) ; les recensements ont été effectués en 1979, 1992 et 2002.

Tableau 1: Synthèse des données et les caractéristiques des stations

Type de données	Sources	Région ou station	Période	Caractéristiques		
				Lat.	Long.	Alt. (m)
Pluies	DMNT	Ountivou	1955 - 1999	7°22' N	1°36' E	170
	ASECNA Cotonou	Aplahoué		6°55' N	1°40' E	153
		Dogbo		6°45' N	1°47' E	70
		Grand-Popo		6°17' N	1° 49' E	5
Débits	CEB	Nangbéto Amont	1955 - 1999	7°25' N	1°26' E	150
	CEB	Nangbéto Aval		7°25' N	1°26' E	150
	SHB	Athiémé		6°35' N	1°40' E	8
Images Landsat ETM+	ESDI	Bassin Mono	1986 & 2000	-	-	-
Superficies emblavées	CARDER	Basse vallée	1987 - 2004	-	-	-
Démographiques	INSAE	Basse vallée	1979,1992,2002	-	-	-

DMNT : Direction de la Météorologie Nationale du Togo ;

ASECNA : Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne ;

CEB : Communauté Electrique du Bénin ;

INSAE : Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique ;

SHB : Service de l'Hydrologie du Bénin ; CARDER : Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural ;

ESDI (Earth Science Data Interface): <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>

Méthodes

Le test de PETTITT (1979) a permis d'examiner la stabilité temporelle des séries de débits et de pluies sur la période de 1955-1999. En Afrique de l'Ouest, ce test a montré son efficacité tant en climatologie qu'en hydrologie (GAUTIER *et al.*, 1998 ; MOREL, 1998 ; PATUREL *et al.*, 1998 ; OZER, 2000 ; SENE et OZER, 2002 ; HOUNTONDI *et al.*, 2003;

HOUANYE, 2003). Les résultats sont présentés sur base de trois seuils de significativité (Tableau 2).

Tableau 2 : Probabilités associées au test de PETTITT (d'après Paturel *et al.*, 1998)

Probabilités associées	Classes de rupture
<5 %	Rupture significative
Entre 5 et 20 %	Rupture peu significative
>20%	Série homogène

Afin d'apprécier la vulnérabilité et les changements intervenus dans les formes d'occupations des sols, nous avons analysé l'évolution de la population, des superficies emblavées et du couvert végétal. L'analyse diachronique de la végétation par les images satellitaires a porté sur une

zone de 100 km² située en aval entre les latitudes 6°32' et 6°38'N ; les longitudes 1°37'E et 1°43'E, et couvrant partiellement les communes d'Athiéme et de Lokossa fréquemment affectées par les inondations. Ces images ont été traitées à l'aide du logiciel ENVI 4.0.

RESULTATS

Pluviométrie

La zone d'étude est caractérisée par une pluviométrie annuelle de l'ordre de 900 à 1100 mm. Le régime pluviométrique est bimodal et comporte quatre saisons : une grande saison des pluies (avril à juin) et une petite de septembre à octobre, entrecoupées par une longue saison sèche, de novembre à mars, et une plus courte de juillet à août.

La stabilité temporelle des séries pluviométriques annuelles et mensuelles sur la période 1955-1999 a été réalisée par l'application des tests de PETTITT (1979). Pour les précipitations annuelles, seules les stations de Dogbo et Grand-Popo ont connu des changements abrupts dans les séries (Tableau 3). Les stations de Dogbo et de Grand-Popo ont connu respectivement une rupture à la baisse en 1968 et 1975, suivie par une rupture à la hausse en 1984 à Dogbo et en 1986 à Grand-Popo.

Tableau 3 : Résultats du test de PETTITT appliqué aux précipitations annuelles

Stations	Rupture de tendance	Année de rupture
Ountivou	=	-
Aplahoué	=	-
Dogbo	--	1968
	++	1984
Grand-Popo	--	1975
	+	1986

++ montre les ruptures significatives à la hausse ; + montre les ruptures peu significatives à la hausse ; -- montre les ruptures significatives à la baisse ; = montre l'absence de tendance

L'analyse des précipitations mensuelles de mars à octobre indique diverses ruptures à la baisse entre 1962 et 1981 selon les stations et les mois. Ces ruptures significatives ont été systématiquement suivies de ruptures à la hausse entre 1977 et 1986 (Tableau 4).

Tableau 4 : Résultats du test de PETTITT appliqué aux précipitations mensuelles

Mois	Rupture de tendance / Année			
	Stations			
Mars	Ountivou	Aplahoué	Dogbo	Grand-Popo
	=	=	-- 1976 + 1983	=
Avril	=	=	=	- 1979
Mai	- 1981	=	- 1965	=
Juin	-- 1969	=	- 1968	- 1975
	+ 1977			
Juillet	=	+ 1984	=	=
Août	+ 1986	++ 1983	=	+ 1978
Septembre	=	=	=	+ 1983
Octobre	=	=	-- 1962	- 1970
			++ 1984	

++ montre les ruptures significatives à la hausse ; + montre les ruptures peu significatives à la hausse ; -- montre les ruptures significatives à la baisse ; - montre les ruptures peu significatives à la baisse ; = montre l'absence de tendance

Écoulement dans le bassin inférieur du fleuve Mono

Régime hydrologique et lames d'eau écoulée

La figure 2 présente le résultat comparatif des régimes hydrologiques (Coefficient Mensuel de débits) avant et après la construction du barrage hydroélectrique de Nangbéto en 1987. Le régime hydrologique du Mono est fonction de l'importance des précipitations locales et du fonctionnement du barrage de Nangbéto. Avant 1987, les premières pluies n'engendrent pas un écoulement significatif. Un véritable début d'écoulement est noté dans tout le bassin au mois de juin. Le pic des débits est centré sur septembre (Fig. 2). Après la construction du barrage, un véritable début des écoulements est toujours observé au mois de juin à l'amont. Mais ces écoulements sont devenus plus importants (5% d'augmentation) aux mois d'août et de septembre. En aval, à Athiémié, l'écoulement est devenu permanent toute l'année. Si la crue est toujours centrée sur septembre, on note cependant une diminution d'environ 40% des écoulements en août et en septembre.

Variabilités des débits annuels et des maxima des débits moyens mensuels

La figure 3 montre l'évolution du débit moyen annuel (DMA) et du débit moyen mensuel maximum (DMMM) au niveau des trois stations. De manière générale, on note que la péjoration climatique des années 70 s'est fait ressentir tant au niveau des DMA que des DMMM dans le bassin du Mono. Pour ce qui est des DMA, la station située en amont montre

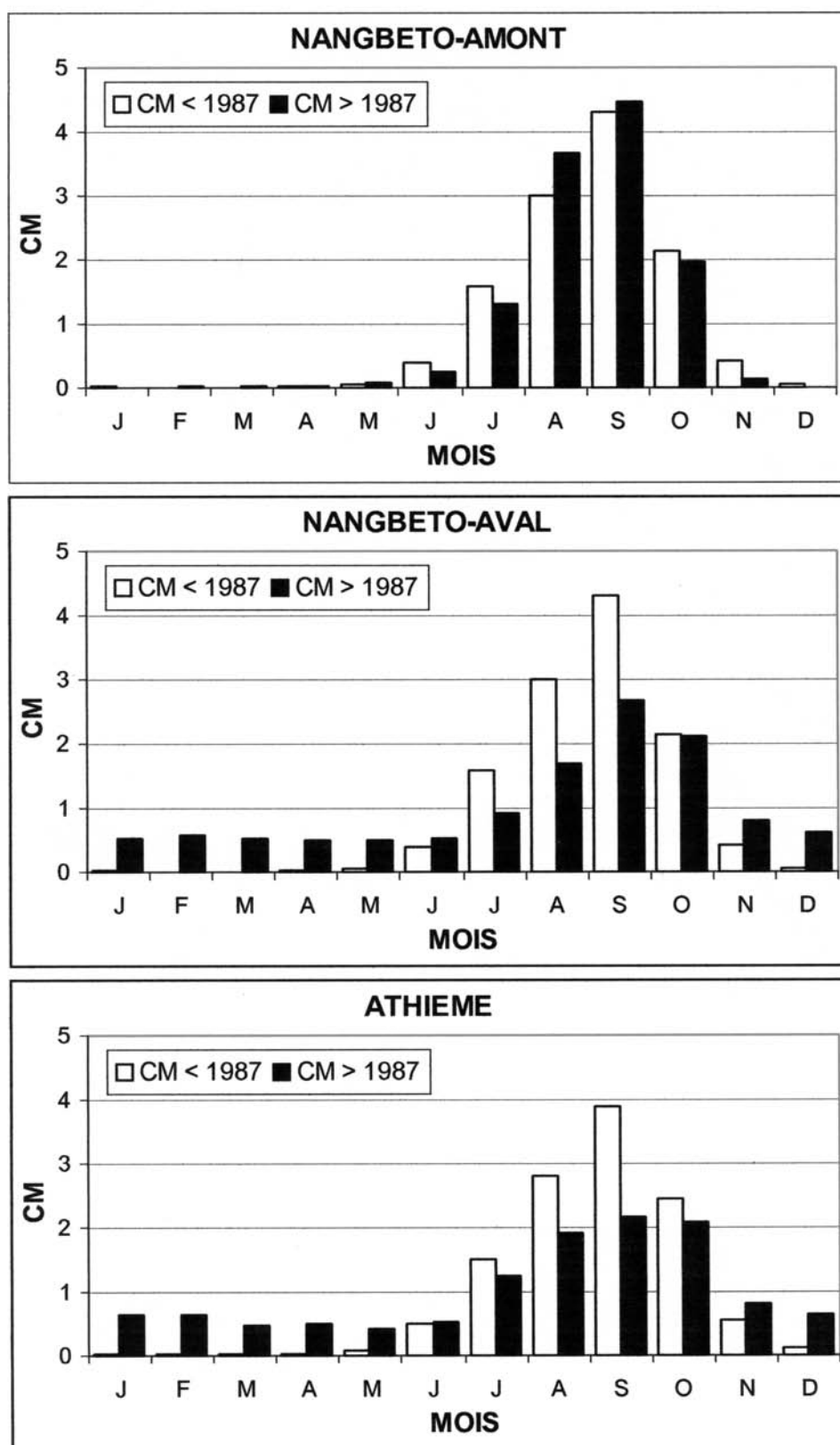


Fig. 2: Coefficients mensuels des débits (CM) dans le bassin du Mono avant et après 1987

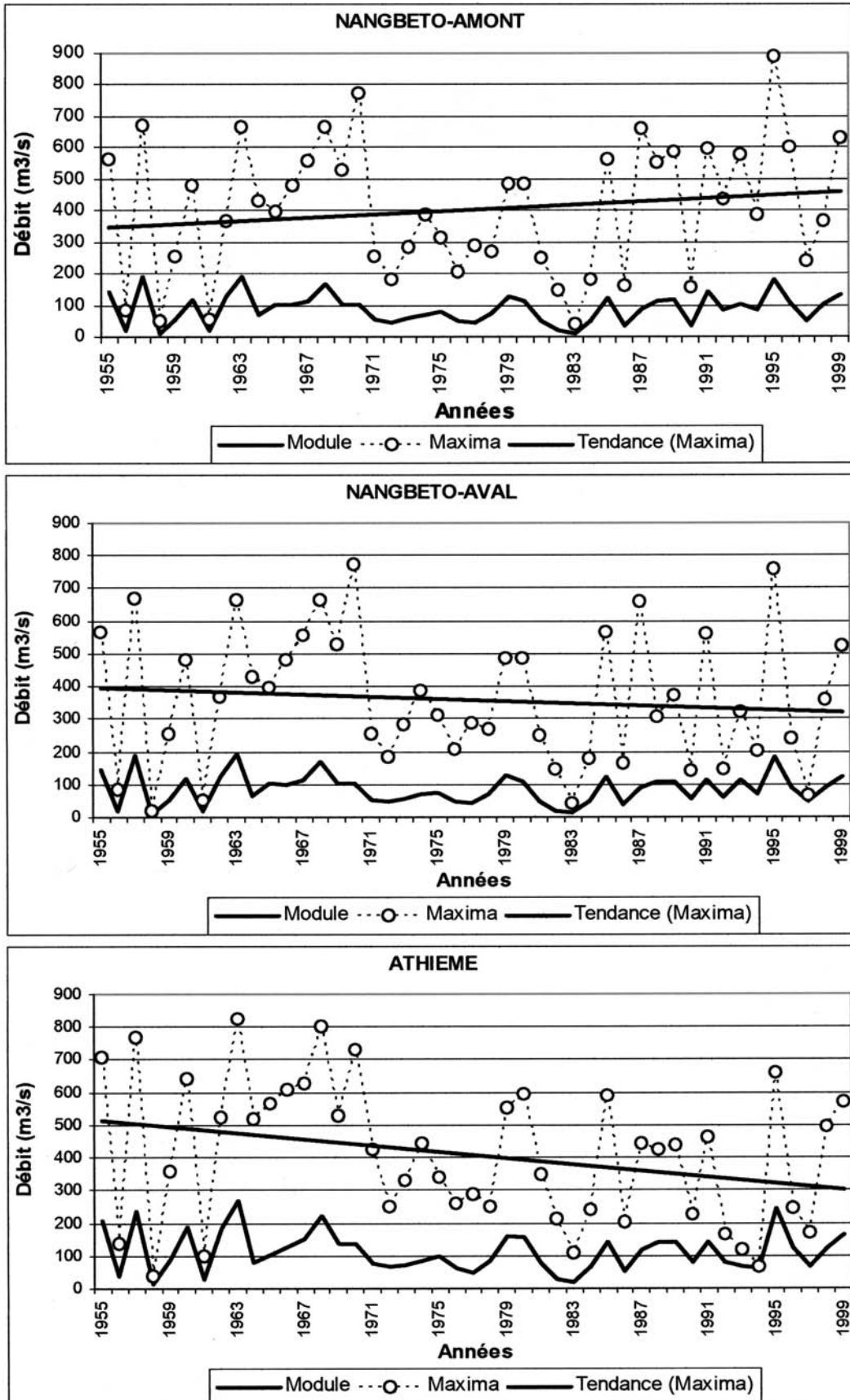


Fig. 3: Evolution des débits moyens annuels (Module) et du débit moyen maximum dans le bassin du Mono de 1955 à 1999.

une certaine stabilité sur le long terme avec une très légère augmentation de 3%. Par contre, les deux stations localisées en aval du barrage présentent une diminution progressive notable des DMA (-6% à Nangbéto et -21% à Athiémé).

L'analyse des DMMM montre une évolution contrastée en amont et en aval du barrage. Ainsi, en amont, après le long déficit pluviométrique des années 70, on observe une augmentation marquée des DMMM dès la fin des années 80. Sur la période analysée (1955-1999), les DMMM ont augmenté de près de 33%, le maximum s'étant produit en 1995 (891 m³/s). En aval (Nangbéto), les maxima observés après la construction du barrage se sont stabilisés à une moyenne similaire à celle observée avant la sécheresse. Cependant, si le maximum des DMMM observé en 1995 (760 m³/s) est proche de celui observé en 1970 (772 m³/s), une diminution de 19% est globalement observée sur la période d'analyse. En revanche, plus en aval (Athiémé, situé à environ 120 km du barrage), les DMMM ont enregistré une forte tendance à la baisse de l'ordre de 40% et ont largement diminué en valeur absolue depuis la construction du barrage puisque le pic de 658 m³/s mesuré en 1995 avait été dépassé à cinq reprises avant la construction du barrage.

Par ailleurs, il est intéressant de noter que les DMMM ont toujours été supérieurs à Athiémé qu'à Nangbéto avant 1987. Après la construction du barrage, la situation s'est inversée et les maxima en aval sont devenus moins importants qu'en amont du barrage à Nangbéto.

Stabilité des débits au niveau du bassin inférieur du Mono

Le tableau 5 résume les résultats de l'application conjointe du test de PETTITT (1979) aux DMA et aux DMMM. Aucun changement abrupt n'est enregistré pour les DMA. Cependant, les DMMM ont partout connu une rupture à la baisse en 1970 ou 1971. Par la suite, une seconde rupture à la hausse en 1986 est observée à la station située à l'amont du barrage.

Tableau 5a: Résultats du test de PETTITT appliquée aux modules annuels

Stations	Rupture de tendance	Année de rupture
Amont (Nangbéto)	=	-
Aval 1 (Nangbéto)	=	-
Aval 2 (Anthiémé)	=	-

Tableau 5b: Résultats du test de PETTITT appliqué aux maxima des débits mensuels

Stations	Rupture de tendance	Année de rupture
Amont (Nangbéto)	-	1970
	+	1986
Aval 1 (Nangbéto)	-	1970
Aval 2 (Anthiémé)	--	1971

++ montre les ruptures significatives à la hausse ; + montre les ruptures peu significatives à la hausse ; -- montre les ruptures significatives à la baisse ; - montre les ruptures peu significatives à la baisse ; = montre l'absence de tendance

Dynamique des activités anthropiques et leurs impacts

La population totale des trois communes de Grand-Popo, d'Athiémé et de Lokossa a connu un accroissement de 26,78% de 1972 à 2002. Ceci a engendré de nouveaux besoins en espaces agricoles, en logements, en bois-énergie et en bois d'oeuvre. Le bassin du Mono recèle d'importantes ressources exploitées par les populations locales au Togo et au Bénin. Il constitue un capital important qui supporte les différentes activités pratiquées principalement l'agriculture, l'élevage, la carbonisation et la pêche artisanale. Au Bénin, l'agriculture contribue pour 40% au Produit Intérieur Brut (PIB) et on estime à 100 000 hectares la superficie défrichée chaque année à l'échelle nationale pour l'installation des champs (MEHU, 2000). On constate chaque année une augmentation des superficies emblavées dans la basse vallée du Mono.

La superficie totale emblavée dans les trois communes était de 5358 ha en 1987. L'année suivante, elle est brusquement passée à 13 046 ha, soit une augmentation de 145%. Par la suite, elle a constamment évolué pour dépasser 23 000 ha en 2004. Cette augmentation subite des superficies emblavées observée après la construction du barrage témoigne de la rapide mise en valeur des terres jadis menacées par le risque récurrent d'inondation. Ces différentes activités ont des impacts directs ou indirects sur l'environnement et l'écosystème naturel, notamment la végétation. L'analyse diachronique entre 1986 et 2000, effectuée à partir des images satellitaires Landsat ETM+, révèle que 60% du territoire a connu une dégradation de la couverture végétale dans les communes de Lokossa et d'Athiémé. Par ailleurs, 22% de la zone couverte par l'étude présente une bonification végétale. Dans la plupart des cas, celle-ci s'observe dans des zones qui étaient marécageuses avant la construction du barrage et où la culture de contre-saison est développée actuellement.

DISCUSSION

Le bassin du fleuve Mono est alimenté par divers régimes pluviométriques, depuis la zone subéquatoriale (bimodal) jusqu'à la zone soudanienne (unimodal). Seul le climat de la zone subéquatoriale a connu des changements pluviométriques abrupts dans les années 60, 70 et 80. Les mêmes résultats ont été obtenus par PATUREL *et al.* (1995) au sud du Bénin-Togo et HOUANYE (2003) dans le bassin inférieur de l'Ouémé au Bénin. A l'échelle régionale, TARDY et PROBST (1992), HULME (1996) et OZER (2000) ont souligné l'importance de ce changement pluviométrique abrupt en région sahélienne qui a également touché la zone soudanienne (MOREL, 1998 ; GAUTIER *et al.*, 1998). La dite « Grande Sécheresse » a donc aussi touché le bassin du fleuve Mono. Mais depuis la fin des années 80, la tendance est à l'amélioration de la pluviométrie annuelle comme dans le bassin de l'Ouémé au Bénin (HOUANYE, 2003) et ailleurs en Afrique de l'Ouest (OZER *et al.*, 2003, 2005).

Le fonctionnement du barrage hydroélectrique influence le régime hydrologique du Mono : l'écoulement devenu permanent en aval du barrage est l'une des conséquences positives de la construction du barrage, ce qui a permis une bonification agricole de près de 18 000 ha de terres jadis marécageuses. En amont, l'écoulement débute toujours véritablement au mois de juin. L'augmentation à l'amont pendant les mois d'août et de septembre s'explique par les améliorations pluviométriques des mois de juillet et d'août observées entre 1983 et 1986 à Ountivou, et ce dans tout le bassin supérieur où règne un climat soudanien. Aussi, à partir de 1987, les stations d'Ina et Parakou (climat soudanien au Bénin) ont connu une rupture à la hausse de la pluviométrie annuelle (HOUNTONDI *et al.*, 2003 ; HOUANYE, 2003). Or le fleuve Mono prend sa source à Bassila, en climat soudanien. Par contre, la diminution des écoulements en aval au cours de ces mêmes mois d'août et septembre, malgré l'amélioration pluviométrique dans le bassin dès la fin des années 80, est attribuée à la gestion du barrage construit en 1987.

Sur le plan hydrologique, aucun changement abrupt n'est enregistré dans les modules annuels. Cette absence de tendance traduit le fait que les changements dans l'affectation du sol, l'urbanisation, les changements climatiques et même le barrage hydroélectrique n'ont pas eu d'impacts significatifs sur la variation interannuelle des modules. Au niveau du bassin du Mono, l'occupation du sol concerne essentiellement l'agriculture, l'élevage, les habitations, les aménagements et le déboisement excessif (ADAM, 1989 ; AGO, 1999, 2001 ; ASSANI *et al.*, 1999 ; DAINOU, 2000 ; HOUESSOU, 2001 ; MATHIEU, 2001 ; MAHE *et al.*, 2003 ; ARIORI, 2004 ; OZER, 2004a, 2005 ; MAHE *et al.*, 2005). L'évolution des modules annuels du fleuve Mono reste donc sous la dépendance des facteurs climatiques dont la variation interannuelle est gouvernée par un processus aléatoire.

A l'échelle sous régionale, des résultats contraires ont été obtenus sur la même période par MAHE *et al.* (2005) qui ont travaillé dans le bassin de Nakambé au Burkina-Faso (Sahel). Dans un contexte de baisse de la pluviométrie et d'augmentation du nombre de barrages, ces auteurs observent une augmentation significative des écoulements pendant les mois de

juillet, août et septembre et surtout un déplacement du pic de septembre à août. Ils expliquent que les changements dans l'utilisation des sols ont finalement augmenté le ruissellement au niveau du bassin. La végétation naturelle qui occupait 43% du bassin en 1965 ne représentait plus que 13% en 1995 alors que les superficies agricoles sont passées de 53% à 76% de la superficie du bassin et que la superficie des sols nus a triplé, passant de 4% à 11% de celle du bassin. D'autres études ont donné des résultats similaires dans la région sahélo-soudanienne, notamment au Niger et au Burkina-Faso (LUDUC *et al.*, 2000 in MAHE *et al.*, 2005 ; MAHE *et al.*, 2003).

Les déversements effectués par le gestionnaire du barrage engendrent une montée du niveau de l'eau en aval, d'où une augmentation brusque des débits maximums. En effet, les populations riveraines interrogées ont souligné le caractère brusque des crues après la réalisation du barrage. Mais, au vu des résultats, cela ne suffit pas pour affirmer que les inondations à l'aval sont le fait du barrage hydroélectrique. Ces dernières sont plutôt la cause de l'amélioration pluviométrique dans tout le bassin dès la fin des années 80 qui a coïncidé avec la construction du barrage. En outre, nous avons montré que les maxima des débits mesurés à l'aval sont toujours de loin inférieurs à ce qu'ils étaient avant la construction du barrage hydroélectrique, et ce malgré les déversements de "cru" effectués lorsque la retenue est pleine. Il s'agit d'une coïncidence d'événements climatiques et anthropiques. D'autres auteurs qui ont travaillé dans la région tels ANTREAUME (1978) et PLIYA (1980), ont fait des constats similaires en ce qui concerne la montée des eaux. Ces auteurs avaient souligné le caractère dangereux du fleuve Mono et la rapidité des inondations dans la vallée, bien avant la mise en service du barrage de Nangbéto en 1987.

Les activités pratiquées dans le bassin ont des impacts importants sur l'environnement et les ressources naturelles de façon directe ou indirecte (FANOUE *et al.*, 1997 ; SOKPON *et al.*, 1997 ; AGO, 1999, 2001 ; DAINOU, 2000 ; MEHU, 2000 ; ARIORI, 2004). Déjà en 1975, les forêts reculaient de manière inquiétante au Bénin à un rythme annuel d'environ 1000 km² (MEHU, 1993). Selon PARADIS (1988); 95 % du territoire béninois autrefois couvert par les mangroves, est actuellement occupé par des herbacées des milieux salés. STONE (1996) ajoute que l'agriculture pénètre de plus en plus les zones protégées et les terres marginales au Bénin. Les faibles densités de peuplement arborescent obtenues par AGO (1999) lors de ses inventaires dans les forêts sacrées du plateau Adja relèvent des pressions anthropiques. SENA (2003) a observé dans la région des Plateaux au Togo que les formations forestières ont reculé sous la pression croissante des cultures et des activités humaines émergentes. L'auteur signale que dans la ville d'Atakpamé au Togo (zone du barrage), la couverture forestière est passée de 1939 ha en 1970 à 40 ha en 2000 ; et la ville s'est étendue sur plus de 2025 ha occupant les versants alors qu'elle ne couvrait que 481 ha en 1970.

Or la végétation, et plus particulièrement la composition floristique et la densité des arbres, joue un rôle très important dans l'ampleur et la fréquence des événements, la morphologie fluviale, les débits, la stabilisation des berges et la géométrie du lit (PETTS, 1984 ; MAHE *et al.*, 2003, 2005 ; BRAVARD & PETIT, 1997). Même si l'on admet qu'il n'existe pas de corrélation évidente entre l'ampleur des inondations et la dégradation de l'environnement du bassin, la contribution de celle-ci apparaît plausible. Par ailleurs, la population a connu un accroissement de 27% entre 1979 et 2002. De nouveaux besoins sont ainsi satisfaits au détriment des zones naturelles dans le bassin versant. D'autres auteurs ont mis en exergue l'impact de l'accroissement démographique sur la dégradation des ressources naturelles (MAINGUET, 1991 ; KOKOU, 1998 ; AGO, 1999 ; MATHIEU, 2001 ; ARIORI, 2004 ; OZER, 2004b). L'écosystème de la zone à l'aval du barrage, notamment le couvert végétal, paye ainsi le prix de cet accroissement démographique.

CONCLUSION

L'analyse hydrologique sur la période de 45 ans dans le bassin inférieur du fleuve Mono montre que les changements intervenus dans l'affectation du sol, l'accroissement des surfaces imperméables et le fonctionnement du barrage hydroélectrique de Nangbéto n'ont pas modifié de manière significative la variation interannuelle des modules. L'évolution des débits au niveau du fleuve Mono reste sous la dépendance des facteurs climatiques dont la variation interannuelle est aléatoire.

Outre l'amélioration de la pluviométrie dès la fin des années 80, les pressions anthropiques et la poussée démographique expliquent l'essentiel de l'ampleur et de la fréquence élevée du risque d'inondation en aval du barrage de Nangbéto ces dernières années. Face à l'augmentation de la population et en l'absence d'une véritable politique de gestion du territoire, on a assisté à la dégradation des sols, au déboisement des berges et des zones inondables, sans oublier l'augmentation des superficies emblavées et des habitations dans les zones non constructibles. L'augmentation de la vulnérabilité est la cause principale de l'importance des inondations et des dégâts dans la basse vallée du Mono. Dès lors, il importe de sensibiliser les autorités locales afin qu'elles développent d'autres stratégies de gestion des inondations beaucoup plus axées sur la diminution de la vulnérabilité. Ceci implique l'existence d'un plan d'aménagement du territoire, son application, et surtout son respect.

REMERCIEMENTS

Le premier auteur remercie la Commission Universitaire pour le Développement (CUD, Belgique) pour la bourse d'étude qui lui a été accordée pour participer au DES en Gestion des Risques Naturels, formation au cours de laquelle ce travail est réalisé (AGO, 2005). Nos remerciements vont également à l'Association pour l'Agriculture et le Développement Durable (A2D-ONG) pour avoir financé les divers séjours, déplacements et l'acquisition des données pour cette étude au Togo et au Bénin. Aussi, l'Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne (ASECNA) de Cotonou, la Direction de la Météorologie Nationale (DMN) du Togo, le Service de l'Hydrologie (SH) du Bénin, la Communauté Electrique du Bénin (CEB), l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE) du Bénin, le Centre d'Action Régionale pour le Développement Rural (CARDER) du Mono sont remerciés pour nous avoir fourni un nombre considérable de données climatiques, hydrologiques, socio-économiques et agricoles utilisées dans cette étude.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADAM K.S., 1989. Les impacts environnementaux du barrage de Nangbéto (Togo). *Geo-Eco-Trop*, 13: 103-112.
- AGO E.E., 1999. Sacralisation et niveau de maturation des forêts denses semi-décidues du plateau Adja au Sud-Ouest du Bénin. Mémoire inédit. Faculté des Sciences Agronomiques, Université Nationale du Bénin, Bénin. 182 p.
- AGO E.E., 2001. Contribution à la conservation de la biodiversité dans les zones humides : dénombrement des hippopotames et leurs interactions avec les populations du Mono et du Couffo au Sud-ouest du Bénin. Rapport d'étude CBDD/CN-UICN, Bénin. 29 p + annexes.
- AGO E.E., 2005. Analyse des risques d'inondation en aval du barrage de Nangbéto au Togo et au Bénin. Mémoire inédit. Université de Liège / Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. 40 p. + annexes.
- ANTHEAUME B., 1978. Agbétiko terroir de la vallée du Mono (Sud Togo). ORSTOM. Paris, 125 p.
- ARIORI S.L., 2004. Déforestation en Afrique de l'ouest: Mise au point et implications pour la désertification. Mémoire inédit. Université de Liège / Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. 42 p.
- ASSANI A.A., PETIT F. & MABILLE G., 1999. Analyse des débits de la Warche aux barrages de Butgenbach et de Robertville (Belgique). *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 36: 17-30.
- BAGLO M.A., 1989. La mangrove du Bénin: grands équilibres écologiques et perspectives d'aménagement. Thèse de doctorat de 3ème cycle. Université Paul Sabatier, Toulouse, France. 169 p. + annexes.

- BRAVARD J.P. & PETIT F., 1997. Les cours d'eau : dynamique du système fluvial. Collection U, Armand Collin, Paris. 222 p.
- COYNE & BELLIER, 1998. Aménagement hydroélectrique d'Adjarala: étude d'impact sur l'environnement. 3 tomes.
- DAÏNOU K.S., 2000. Contribution à la gestion durable des formations boisées du complexe Ouest: basse vallée du Couffo - lac Ahémé - Chenal Aho et lagune côtière. Mémoire inédit. Faculté des Sciences Agronomiques, Université Nationale du Bénin, Bénin. 172 p.
- FANOU J., SOKPON N., CRINOT L., AHOU B. & IGUE M., 1997. Etude des possibilités de gestion efficace et de régénération des sols, du couvert forestier et des pâturages naturels dans le département du Mono. Groupe de travail: Gestion des terroirs, Université Nationale du Bénin, Bénin. 95 p. + annexes.
- GAUTIER F., LUBES-NIEL H., SABATIER R., MASSON J.M., PATUREL J.E. & SERVAT E., 1998. Variabilité du régime pluviométrique de l'Afrique de l'Ouest non sahélienne entre 1950 et 1989. *Hydrological Sciences Journal*, 43: 921-935.
- HACHIMOU I., 1995. Evolution de la Boca del Rio depuis la construction du barrage de Nangbéto et son impact sur le fonctionnement du système lagunaire du sud-ouest béninois. Rapport inédit, 26 p.
- HOUANYE A.K., 2003. Apports de l'analyse des variabilités pluviométriques et des écoulements à l'explication des inondations: cas du bassin de l'Ouémé au Bénin. Mémoire inédit. Université de Liège / Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. 42 p.
- HOUESSO S., 2001. Impacts psychologiques de déplacement et de réinstallation involontaires sur le développement des populations déplacées en Afrique: étude de cas. In: 6ème Colloque International des spécialistes francophones en évaluation d'impacts, 24-27 avril 2001, Cotonou, Bénin. 596 p.
- HOUNTONDJI Y.C., OZER P. & TYCHON B., 2003. Etude des modifications environnementales à partir des données pluviométriques et NDVI de NOAA-AVHRR en Afrique de l'Ouest. In: Les journées des géographes belges, Tome 1: Evaluer la capacité du milieu, SCHMITZ S. & MEERT H. (eds.), Editions BEVAS/SOBEG: 19-24.
- HULME M., 1996. Recent climatic change in the world's drylands. *Geophysical Research Letters*, 23: 61-64
- KOKOU K., 1998. Les mosaïques forestières au sud du Togo: biodiversité, dynamique et activités humaines. Thèse de Doctorat. Université de Montpellier II, Montpellier, France. 139 p. + annexes
- MAHE 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 the Mediterranean and Semiarid Regions, SERVAT E., NAJEM W., LEDUC C. & AHMED S. (eds.), IAHS Publ. No. 278: 215-222.
- MAHE G., PATUREL J.E., SERVAT E., CONWAY D. & DEZETTER A., 2005. The impact of land use change on soil water holding capacity and river flow modelling in the Nakambe River, Burkina-Faso. *Journal of Hydrology*, 300: 33-43.
- MAINGUET M., 1991. Desertification: Natural background and human mismanagement. Springer-Verlag, Berlin. 306 p.
- MATHIEU P., 2001. Accroissement démographique et gestion de l'environnement en Afrique Sub-Saharienne: développement durable ou catastrophes inéluctables. *Population et développement*, 9: 375-412.
- MEHU, 1993. Plan d'Action Environnemental du Bénin. Direction de l'Environnement, Cotonou, Bénin. 101 p.
- MEHU, 2000. Programme National de Lutte contre la Désertification. Direction de l'Aménagement du Territoire, Cotonou, Bénin. 77 p.
- MEHU, 2001. Communication Nationale Initiale du Bénin sur les changements climatiques. Projet BEN/98/G31, Direction de l'Environnement, Cotonou, Bénin. 94 p.
- MOREL R., 1998. Début de la sécheresse en Afrique de l'Ouest. In: Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology. DEMARÉE G., ALEXANDRE J., DE DAPPER M. (eds.), Royal Meteorological Institute of Belgium / Royal Academy of Overseas Sciences, 200-211.
- OZER P., 2000. Les lithométéores en région sahélienne: un indicateur climatique de la désertification. *Geo-Eco-Trop*, 24: 1-317.
- OZER P., ERPICUM M., DEMARÉE G. & VANDIEPENBEECK M., 2003. The Sahelian drought may have ended during the 1990s. *Hydrological Sciences Journal*, 48: 489-492.

- OZER P., 2004a. Bois de feu et déboisement au Sahel: mise au point. *Sécheresse*, 15: 243-251.
- OZER P., 2004b. Introduction aux risques naturels. Note de cours, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Arlon, Belgique. 56 p.
- OZER, P. 2005. Désertification: définition, causes, processus et réhabilitation. Note de cours, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, Arlon, Belgique. 169 p.
- OZER P., BODART C. & TYCHON B., 2005. Analyse climatique de la région de Gouré, Niger oriental : récentes modifications et impacts environnementaux. *Cybergeo: Revue Européenne de Géographie*. No.308, 02/05/2005, 24 p. (<http://www.cybergeo.presse.fr>)
- PARADIS G., 1988. Etude comparative des végétations littorales du Bénin et de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat. Université de Bordeaux III, Bordeaux, France. 295 p.
- PATUREL J.E., SERVAT E., KOUAME B., BOYER J.F & LUBES H., 1995. Manifestations de la sécheresse en Afrique de l'Ouest non sahélienne. Cas de la Côte d'Ivoire, du Togo et du Bénin. *Sécheresse*, 6: 95-102.
- PATUREL J.E., SERVAT E., KOUAME B., TRAVAGLIO M., OUEDRAOGO M. & BOYER J.F., 1998. Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale. *In: Water Resources Variability in Africa XXth century*, IAHS Publ. No. 252: 323-336.
- PETTITT A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics*, 28: 126-135.
- PETTS G.E., 1984. Impounded rivers: perspectives for ecological management. John Wiley & Sons, Chichester. 326 p.
- PGTRN, 2003. Rapport de fin de phase période 1998-2003 au Bénin. Cotonou, Bénin. 132 p.
- PLIYA J., 1980. La pêche dans le sud-ouest du Bénin. Etude de géographie appliquée sur la pêche continentale et maritime. Agence de Coopération Culturelle et Technique, Cotonou, Bénin. 296 p.
- SENA N.Y., 2003. Apport de la télédétection dans la dynamique spatiale et les risques naturels : Cas de la région des plateaux du Togo. Mémoire inédit. Université de Liège / Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique. 41 p + annexes.
- SENE S. & OZER P., 2002. Evolution pluviométrique et relation inondations - évènements pluvieux au Sénégal. *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42: 27-33.
- SNEYERS R., 1990. On the statistical analysis of series of observations. Technical Note N°143. World Meteorological Organization, Genève, Suisse. 192 p.
- SOFRELEC, 1996. Mono River Development Project. Final Report.
- SOKPON N., SINZOGAN A. & HOUNGBO E., 1997. Aménagement Hydroélectrique d'Adjarala: mise à jour de l'étude d'impact sur l'environnement de la zone aval hors milieu aquatique et du plan détaillé de réinstallation des populations. Faculté des Sciences Agronomiques, Université Nationale du Bénin, Bénin. 77 p. + annexes.
- STONE J.D., 1996. Prise de conscience des problèmes de l'environnement en Afrique de l'Ouest. Affronter le défi environnemental. PACIPE. 197 p.
- TARDY Y. & PROBST J.L., 1992. Sécheresse, crises climatiques et oscillations téléconnectées du climat depuis 100 ans. *Sécheresse*, 1: 25-36.
- TARHULE A., 2005. Damaging rainfall and flooding: the other Sahel hazard. *Climatic Change*, 72: 355-377.

