LES CONSEQUENCES DES AMENAGEMENTS HYDRAULIQUES DE LA VALLEE DU MONO (TOGO-BENIN). SAURA-T-ON GERER L'AVENIR ?

ROSSI Georges*

BLIVI Adote**

**Professeur à l'Université Michel de Montaigne-
Bordeaux III*

*** Maître assistant à l'Université du Bénin*

Résumé : Situé sur la frontière Togo-Bénin, le Mono draine un bassin-versant d'environ 30000 km² et se jette dans l'Atlantique par l'intermédiaire d'un vaste système lagunaire. Un premier barrage, celui de Nangbeto, a été construit en 1987, modifiant de façon drastique le régime hydro-sédimentaire naturel dans la vallée et à l'embouchure. Un second barrage, celui d'Adjarala, va être entrepris. Les différentes études d'impact que nous avons menées à l'aide de modèles mathématiques et physiques, montrent que les conséquences de la gestion combinée de ces deux ouvrages vont être, d'une part, une modification du rapport débit/charge, suivi d'un réajustement morphodynamique : modifications de tracé, érosion des berges, creusement du lit ; d'autre part, le remplacement d'un étiage nul de plus de six mois par un écoulement permanent compris entre 40 et 120 m³/s, ce qui conduit à une dulcification des eaux des systèmes lagunaires. On peut légitimement s'interroger sur les conséquences écologiques, économiques et sociales de ces bouleversements. En outre, la modification progressive du régime à l'embouchure va se combiner avec les effets de la progression vers l'est, beaucoup plus rapide que ne le prévoyaient les modèles physiques, de l'érosion littorale déclenchée par la construction du port de Lomé et accélérée par les ouvrages de protection du littoral togolais. A terme, c'est la stabilité de l'ensemble du système des cordons littoraux de cette partie du golfe de Guinée qui pourrait être menacée.

Summary : The Consequences of Hydraulic Development in the Mono Valley, Togo-Benin. Will One Be Able to Manage the Future Effects ? Located on the Togo-Benin border, the Mono River drains a slope-basin of about 30 000 km² and flows into the Atlantic ocean by means of a vast lagoon system. The first dam built, that of Nangbeto, was constructed in 1987, modifying in a drastic manner the natural hydro-sedimentary system in the valley and at the mouth of the river. A second dam, that of Adjarala, is going

to be undertaken. The different impact studies that we have conducted by means of mathematical and physical models, show that the consequences of the combined functioning of these two dams will be, on the one hand, a change in the flow capacity of the river followed by a morphodynamic readjustment : changes in the route taken by the river, erosion of banks, deepening of the river bed ; on the other hand, the replacement of a zero water level for more than six months by a permanent flow of between 40 and 120 m³/s, which will lead to dulcifying the waters of the lagoon system. One can legitimately wonder about the ecological, economic and social consequences of these overwhelming changes. In addition, the progressive modification of the system presently existing at the river mouth will combine with the effects of a progression to the East, far more rapid than the physical models have predicted, of the coastal erosion started by the protection works on the Togo coastline. In time, it is the stability of the entire system of off-shore bars in that part of the Gulf of Guinée that could be endangered.

Mots-clés : barrages, impact des aménagements, gestion de l'environnement, Togo-Bénin.

La construction de grands barrages hydroélectriques sur les fleuves provoque des changements de régimes hydrologique et sédimentologique susceptibles d'entraîner des modifications des équilibres du milieu et d'avoir des impacts négatifs sur la vie des populations et l'économie des régions concernées. L'exemple du barrage d'Assouan est à cet égard particulièrement significatif.

Compte tenu de l'accroissement des besoins énergétiques, ces ouvrages se multiplient. Ainsi, le Togo et le Bénin ont-ils construit, sur le fleuve Mono, le barrage de Nangbeto, dont la mise en eau a eu lieu en juillet 1987, et la construction de celui d'Adjarala, en aval, devrait débuter prochainement. Nous avons effectué, à l'aide d'une série de modèles mathématiques, l'étude d'impact du premier en 1986, et en 1992 celle du second. Il s'agissait de déterminer les conséquences hydrologiques et sédimentologiques de la gestion des barrages tant sur la vallée que sur la côte, car le Mono joue un rôle de pôle d'apport en sédiments.

En effet, la côte du golfe du Bénin est soumise depuis une vingtaine d'années à une violente érosion, qui est la conséquence d'une série d'aménagements conçus sans prise en compte de leurs impacts. En particulier, le port de Lomé, bloquant en totalité l'important transit littoral ouest-est (1,3 - 1,5 millions m³/an en moyenne), a déclenché, progressivement, sur plus de 40 km, un recul de la plage qui a atteint jusqu'à 40 m/an, menaçant toute une série d'infrastructures et surtout l'usine de concentration de phosphates de Kpémé et la ville d'Aného (fig 1)

Fig.1 - Croquis de situation

La violence de cette érosion et l'importance des sites menacés nous ont conduit à préconiser la mise en place d'un important programme de protection'. Il comporte à Kpérné une batterie de 10 épis de longueur variable et à Aného un brise-lames accompagné de 6 épis. Le système réalisé protège 15 km de littoral. La première phase (brise-lames et 11 épis) a dû être réalisée très rapidement de mai 1987 à mars 1988. La seconde devait être réalisée en 1993, mais les événements politiques ont renvoyé sa réalisation dans un futur incertain.

L'ensemble des données de ce problème a été exposé en détail par ailleurs*. Parmi les études qui ont été menées à cette occasion, deux modèles sédimentologiques et plusieurs modèles mathématiques ont été réalisés. Le but était d'optimiser le système de protection et de déterminer l'évolution de la côte du Togo et du Bénin à échéance de vingt-cinq ans. La grande complexité des interactions entre les impacts des différents aménagements, la marge d'erreur inhérente aux modélisations, qui peut être quantifiée grâce à un suivi de terrain effectué par l'université du Bénin, amènent à tenter d'imaginer comment gérer l'incertitude.

I - Le bassin-versant du Mono

Situé dans sa partie aval sur la frontière entre le Togo et le Bénin, le Mono est un fleuve de 340 km de long. Le bassin-versant, orienté N-S, a une superficie d'environ 30 000 km². Le barrage de Nangbeto est construit à 180 km de l'enibouchure et la surface du bassin-versant qui l'alimente est de 15 700 km². Celui d'Adjarala est construit à 100 km en aval de Nangbeto et, entre les deux barrages, la surface drainée est de 11 000 km² (fig.2).

1- Caractères géomorphologiques

La vallée du Mono en aval de Nangbeto se divise en trois secteurs principaux :

a- De Nangbeto aux rapides d'Adjarala, le Mono traverse le socle cristallin **granito-gneissique** et la morphologie de la vallée est relativement simple. Son tracé à larges méandres inscrits dans l'altérite ou dans la roche en place, résulte d'une surimposition à partir de la surface d'aplanissement fini-tertiaire. Le profil en long (pente moyenne voisine de 2 ‰) est constitué d'une suite de biefs et de rapides qui n'introduisent pas de variation importante de pente, sauf ceux d'Adjarala, situés à la sortie du socle pour lesquels elle atteint 5 %.

1- Université du Bénin, 1974

2- Rossi, 1988, 1989, 1990.

Fig.2 - Croquis de situation de la Vallée du Mono

b-La dépression de la Lama

Lors de l'élaboration de la surface fini-tertiaire, cette dépression représentait, du point de vue dynamique, la charnière entre une partie nord à l'ablation prédominante et une partie sud à accumulation prédominante, autrement dit, la surface de remblaiement constituée par les dépôts corrélatifs du «Continental Terminal».

La vallée s'est donc creusée dans des dépôts sablo-argileux et argileux dont la résistance à l'incision est très faible. Aussi la vallée change-t-elle complètement d'aspect, et forme sur environ 10 km de large, une série de bas-fonds inondables sans limites précises, aux multiples chenaux de crue et marigots de débordement. La nature imperméable du substratum de la Lama explique, avec la quasi-absence de pente transversale et une pente longitudinale de l'ordre de 0,1 %, son très mauvais drainage et son caractère marécageux dès les premières pluies.

Au total, des points de vue hydraulique et dynamique, la dépression de la Lama, de par sa forme, la nature de son substratum, la modification de pente qu'elle introduit, a fonctionné et fonctionne comme un bassin de stockage des crues et des alluvions les plus grossières.

c-De Grand-Popo à l'embouchure

Sur 13 km, de Grand-Popo à la Bouche du Roi, le Mono, dévié par la progression vers l'est des flèches littorales, est franchement W-E. Il s'agit là d'un milieu fluvio-marin typique. Le lit majeur est nettement limité au sud par le cordon littoral. Par contre, il se confond au nord avec la plaine d'inondation qui atteint là une quinzaine de kilomètres de large. Cette plaine, toujours plus ou moins marécageuse, est soumise à l'influence de la marée par l'intermédiaire d'une série de chenaux anastomosés, au chevelu très dense, souvent bordés de palétuviers. Un peu en amont de Grand-Popo, une rivière, la Mbaga, met en relation le système fluvio-lagunaire du Mono avec celui du lac Togo.

L'analyse des sédiments de la plage sous-marine dans le secteur de la Bouche du Roi montre une augmentation de leur diamètre, autour et à l'est de l'embouchure, pour toutes les profondeurs. Cette augmentation est particulièrement forte entre zéro et 11 m et traduit l'influence des apports du Mono. Au niveau du zéro, la fraction silteuse représente entre 60 et 100 % de l'échantillon à l'ouest de l'embouchure ; à l'est de celle-ci, les sables peuvent représenter au contraire jusqu'à 100 % de l'échantillon. Pour les fonds, jusqu'à 11 m, les diamètres médians des sables se situent, à de rares exceptions près, entre 0,01 et 0,03 mm à l'ouest de l'embouchure, tandis qu'à l'est de celle-ci, ce sont les valeurs inférieures à 0,06 mm qui deviennent l'exception.

Il est évident que les apports du Mono à la mer exercent des influences quantitative et qualitative sur l'équilibre sédimentaire de la côte à l'est de l'embouchure en réalimentant en sables la dérive littorale.

2-Le régime hydrologique actuel

Il se caractérise par des apports naturels pratiquement nuls durant six mois, de riovertibre à mai (fig.3). Le débit spécifique annuel varie très peu à l'aval de Nangbeto avec des valeurs voisines de 51 l/s/km^2 . Les débits spécifiques de crue marquent, au contraire, un amortissement notable d'amont en aval. Ils s'accompagnent d'un écrêtement entre Tététo et Athiémé du fait des débordements dans la plaine.

Fig.3 - Régime hydrologique du Mono avant et après aménagement

3-L'érosion et les transports solides.

Les mesures de turbidité effectuées par l'ORSTOM à Corrèkopé de 1965 à 1967 permettront, en utilisant la courbe des débits classés, d'évaluer l'apport moyen annuel à 950.000 t , soit une érosion spécifique moyenne de $60 \text{ t/km}^2/\text{an}$. Aucune mesure de charriage n'ayant été faite, on a admis pour celui-ci une proportion de 20% par rapport à la masse en suspension, ce qui porte l'érosion spécifique à $75 \text{ t/km}^2/\text{an}$. Les calculs de capacités de transport théorique donnant $1\,800\,000 \text{ m}^3/\text{an}$, soit $106 \text{ t/km}^2/\text{an}$, il est certain que toute la charge solide provenant du bassin est actuellement évacuée jusqu'à l'embouchure (fig.4).

Du point de vue granulométrique, une très nette différence existe entre les échantillons du lit mineur et ceux du lit majeur. Dans celui-ci la proportion de

silt varie suivant la situation niorphologique du prélèvement, entre 10 % et 95 % (les proportions les plus élevées se situant dans les marigots de débordement), alors que dans le lit mineur, on rencontre exclusivement des sables et des graviers dont les diamètres diminuent régulièrement d'amont en aval (fig.5).

Fig.4 - Débits classés du Mono avant et après aménagement

Fig.5 - Echelonnement des diamètres moyens des sables le long du Mono

II - Les impacts des barrages

1-Impacts hydrologiques entre Adjarala et la mer

Les conséquences hydrologiques de la mise en service et de la gestion conjointe des barrages de Nangbeto et d' Adjarala, ont été examinées en ce qui concerne l'impact du nouveau régime hydrologique sur les débits, sur l'évolution des niveaux du fleuve et des systèmes lagunaires, le résultat des lâchures de turbinage sur le lit du fleuve, les échanges entre les systèmes lagunaires et la mer et l'évolution de leur salinité.

a-Lu gestion conjointe des retenues de Nangbeto et d'Adjarala modifiera peu les débits des crues moyennement importantes, les laminant à partir de la crue quinquennale. En revanche, les transformations du régime de la rivière en période d'étiage seront très importantes. A l'aval d' Adjarala, ce débit était en situation naturelle, pratiquement nul pendant plusieurs mois. Il est maintenant de l'ordre de 40 à 50 m³/s, modulé jusqu'à 120m³/s par les lâchures destinées à la production électrique. Les modulations de débits journaliers seront encore perceptibles à l'entrée du système lagunaire. La transformation d'un long étiage nul en débit permanent soutenu constitue l'impact le plus sérieux pour le bas-Mono et les systèmes lagunaires. Il conduira à une dulcification complète des eaux du Mono et du lac Ahémé. Pour ce dernier, l'ouverture permanente de la Bouche du Roi permettra en période d'étiage des entrées d'eaux marines qui pourront entretenir une faible salinité dans le chenal lagunaire (fig.6).

En ce qui concerne le lac Togo et la lagune d' Aného, dans la mesure où l'embouchure resterait ouverte de façon pratiquement permanente, ce qui n'est actuellement pas le cas mais ce que prévoit à l'échéance de 20 ans le modèle physique réalisé en 1988, il apparaît une accentuation du régime actuel conduisant à une forte salinisation de novembre-décembre à mars-avril et une dulcification le reste de l'année. Il faut donc s'attendre à des modifications de la biocénose dont on peut se demander comment elle réagira à un régime qui fera alterner au cours de l'année de telles variations de salinité.

Ces changements affecteront également le lac Ahénié, mais celui-ci demeurant tout au long de l'année un espace d'eau douce ou très faiblement salée à proximité de l'embouchure, la transformation de la biocénose sera plus simple. Par contre, on peut s'interroger sur les conséquences humaines, économiques et sanitaires de cette situation.

Fig.6 - A - Débits naturels aux principaux noeuds du système du Mono par grande marée. La Mbaga est régulièrement alimentée en eau salée avec une répartition temporelle sensible à la mise en service du barrage ($Q=40\text{m}^3/\text{s}$). La Mbaga est alimentée uniquement en eau douce, sauf par grande marée qui provoque des mouvements alternés d'eau douce et d'eau salée.

b-Les crues légèrement débordantes, bien que renforcées par la gestion des retenues, ne sauraient provoquer de modifications significatives en matière de niveau ou de surfaces inondées. Il n'existe d'ailleurs à ce jour aucune observation sur la fréquence et l'extension réelles des inondations. L'élévation de niveau dans les lagunes (0,40 à 0,50 m) n'est pas sensiblement supérieure à celle qu'on observe en régime naturel.

c-Dans ces conditions, l'impact d'exploitation le plus important est provoqué par les lâchures en étiage pour la production d'énergie de pointe. Ce régime de turbinage conduit, à proximité de la retenue, à de brusques variations de niveau et de vitesse qui entraîneront un récurage du lit et des érosions des berges.

En effet, le début théorique du mouvement des sables s'opère pour des débits de 10 à 15 m³/s à l'entrée du secteur de plaine (donc près d' Adjarala) et de 5 à 10 m³/s de part et d'autre de ce secteur, soit parce que la pente est plus élevée (à l'amont), soit parce que le grain a un diamètre plus faible (à l'aval). Or les débits moyens lâchés à Adjarala seront le plus souvent supérieurs à ces valeurs, atteignant 120 m³/s en pointe.

2-Impact sédimentologique

a- En pied de retenue

L'apport solide total du Mono à Nangbeto serait donc de 950 000 t par an qui, par le jeu du transport vers l'aval selon les deux processus de la suspension et du charriage, se transforme en un apport de l'ordre de 100 000 m³ de sable par an à la côte. Cette fourniture sédimentaire a été interrompue dès la mise en eau du barrage de Nangbeto. L'apport du secteur compris entre Nangbeto et Adjarala, calculé à partir de la surface drainée par le bassin-versant peut être estimé à 200 000 tonnes. La mise en service de ce barrage entraînera donc un déficit supplémentaire à la côte de l'ordre de 20 000 m³ de sable.

La diminution globale des apports du Mono représenteront 7 à 8 % du transit littoral, la part propre d' Adjarala n'étant que de l'ordre de 1 à 2 %.

b-Le long du fleuve Mono

La capacité de transport solide du lit naturel calculée en amont -zone de rapides- et en aval -zone de plaine, puis estuaire- montre que le transport des sédiments s'effectue en deux temps : par les crues qui provoquent des effets de chasse, puis par les eaux moyennes qui agissent plus longtemps et répartissent les stocks de manière plus homogène dans le lit vers l'aval. Les calculs montrent que sous l'influence de la gestion conjointe de Nangbeto et d' Adjarala, la

capacité globale de transport du Mono n'est pas grandement modifiée. En effet, les crues, mêmes laminées, conserveront **une** capacité de transport équivalente puisque **le débit** significatif, voisin du débit avant débordement, reste identique. Par contre, **l'approvisionnement** en sédiments par le bassin-versant, déjà réduit par Nangbeto, va devenir négligeable à l'aval d'Adjarala. Dans ces conditions, seul le stock sédimentaire présent dans le lit pourrait venir alimenter la capacité de transport à l'aval du barrage. Il est estimé à 8 millions de tonnes. Compte tenu du type de gestion admis à Adjarala où le débit moyen atteindra de 40 à 50 m³/s en étiage, des lâchures s'opérant jusqu'à 120 m³/s pendant plusieurs jours consécutifs, la durée de vie du stock sédimentaire en transit dans le lit devrait être de l'ordre de 30 à 40 ans.

Pendant cette période, en partant de l'amont, puis à l'aval lorsque tous les bancs mobiles de sable auront **disparu**, les capacités hydrauliques du lit iront augmentant. Les courants plus concentrés dans un lit débarrassé de ses bancs acquerront une énergie supérieure. Le fond du Mono étant le plus souvent rocheux, les rives subiront donc des attaques sans pouvoir pour autant compenser la charge solide disparue. Dans la basse vallée, il est à craindre, compte tenu de la nature limono-argileuse du lit et des berges, **que cette modification** progressive du rapport débit/charge n'entraîne un creusent accentué du lit accompagné du recoupement des méandres, ce qui aurait pour nouvelle conséquence d'augmenter, dans des proportions qu'il n'est pas possible de chiffrer, la pente du fleuve et donc **son** énergie.

On peut donc prévoir, à moyen terme, une fixation du lit et son approfondissement accompagnant des modifications de tracé avec des érosions ponctuelles aux abords. Dans la mesure où les berges et le lit majeur du Mono supportent des villages et des cultures, cela peut avoir plusieurs types d'impact : modification de l'extension des inondations (**impact** sur les cultures de décrue) et après creusement du lit, abaissement du niveau des nappes phréatiques.

c-Près de l'embouchure du Mono.

Il faut s'attendre, dans ce secteur particulièrement vulnérable du littoral béninois, à un déficit d'alimentation en sable de l'ordre de 100 000 à 120 000 m³/an, sans diminution corrélative des capacités de transport solide. Ces apports exercent **une influence** relativement faible sur l'équilibre sédimentaire de la côte à l'est de l'embouchure de la Bouche du Roi, mais importante sur la stabilité hydro-sédimentaire du secteur lagunaire et de l'embouchure elle-même.

Il est donc probable que des désordres doivent être attendus dans les années à venir : agressivité accrue du courant du Mono près du pont de Grand-Popo et à proximité du site urbain lui-même ; sensibilité du cordon littoral aux érosions fluviales pouvant conduire à une rupture de celui-ci au moins lors de crues, cela d'autant plus facilement que son alimentation en sable par la dérive littorale à partir du Togo va aller en diminuant au-delà de la période de 25 ans modélisée.

d-Impact sur la stabilité des embouchures

Lorsqu'on croise les données sédimentologiques et hydrologiques, on peut déterminer les tendances d'évolution des embouchures d'Aného et de la Bouche du Roi. En ce qui concerne Aného, il est maintenant évident que l'importance des apports par la dérive littorale a été largement surestimée sur le modèle physique exploité par la SOGREAH en 1988. Les levés effectués en 1994 par l'université du Bénin montrent que la situation actuelle en matière d'érosion n'aurait dû être atteinte que dans 15 ans environ (fig.7). De ce fait, l'instabilité de l'embouchure va s'accroître et la tendance à l'ouverture plus ou moins permanente s'affirmera. Le régime hydrologique induit par l'exploitation des barrages renforce cette situation en maintenant des vitesses importantes (0,5 m/s) dans la passe. Dans l'immédiat, la Bouche du Roi connaîtra vraisemblablement un régime comparable à l'actuel : sa position et sa taille varieront peu de décembre à mars-avril et une forte instabilité accompagnée d'érosions se manifestera durant le reste de l'année. Cette tendance va augmenter dans le temps avec la diminution des apports sédimentaires du Mono.

Fig.7 - Evolution du trait de côte à l'est du système de protection d'Aného, en nature et sur modèle

III - Impacts sédimentologiques sur le littoral

Le premier enseignement du modèle mathématique réalisé est qu'à échéance de 25 ans la progression vers l'est de l'érosion littorale à partir de la frontière togolaise n'atteindrait pas Grand-Popo. Dans ces conditions, le recul du littoral du fait de la progression de l'érosion côtière d'une part, et l'évolution à l'est de la Bouche du Roi par suite de la diminution des apports sédimentaires par le Mono consécutifs à la mise en service des barrages d'autre part, resteront des phénomènes indépendants au moins pendant cette période de temps.

a-L'érosion littorale à partir de la frontière togolaise

En fonction des derniers levés effectués en 1994 par l'université du Bénin, on peut estimer que le transit littoral actuel à la frontière est voisin de 1 million de m^3/an . Nous avons simulé l'évolution du littoral en prenant pour hypothèse de départ ce chiffre et en admettant une décroissance régulière du transit jusqu'à atteindre 0,72 million m^3/an au bout de 25 ans. Ceci fait apparaître une érosion de 250 m à la frontière. Ce recul, considérable et qui pose de multiples et délicats problèmes, s'amortit progressivement pour disparaître à 12 km à l'est de la frontière. Grand-Popo ne serait donc pas touché. L'hypothèse, plus pessimiste mais vraisemblable, qui admet un transit décroissant plus rapidement en raison d'une plus grande efficacité du beach-rock au Togo, se traduirait par un recul de 350 m à la frontière, mais là encore, Grand-Popo ne serait pas touché.

b-Impact des barrages

L'impact de la gestion combinée de Nangbeto et d'Adjarala, bien que quantitativement réduit, ne peut être négligé. En effet, les situations encadrantes -passage en 25 ans de 100 000 à 0 m^3/an (hypothèse pessimiste) et de 75 000 à 25 000 m^3/an (hypothèse optimiste)- se traduisent par des reculs de, respectivement, 17 et 12 m à l'enibouchure, cette érosion s'amortissant progressivement pour disparaître à 8 km à l'est de la Bouche du Roi. Toutefois, en raison de la migration périodique vers l'est de cette embouchure, on peut considérer que c'est au total une zone de 12 à 13 km à l'est de l'enibouchure actuelle qui risque d'être affectée par l'érosion. En valeur absolue ces chiffres sont faibles : ils correspondent à la valeur observée des fluctuations saisonnières du trait de côte. Mais il faut prendre en compte l'étroitesse (parfois à peine 25 m) et la fragilité du cordon sableux qui ferme la lagune et le lac Ahémé.

Il n'est pas possible de savoir si le cordon reculera parallèlement à lui-même en s'amaigrissant ou s'il disparaîtra progressivement en élargissant l'embouchure, mais il est certain que le défaut d'alimentation le fragilisera un peu plus en provoquant des ruptures, saisonnières dans un premiers temps,

probablement permanentes ensuite. A plus long terme, la progression de l'érosion littorale en provenance de la frontière ajoutera ses effets. Il n'est donc pas exclu qu'à échéance de deux générations environ, il faille envisager la disparition progressive de ce cordon, ce qui ouvrirait la lagune et le lac Ahémé sur l'océan.

L'exploitation conjointe des barrages de Nangbeto et d'Adjarala va entraîner plusieurs types de phénomènes étalés dans le temps :

Du point de vue hydrologique, une dulcification du Bas-Mono et du lac Ahémé. Sur le lac Togo, l'alternance au cours de l'année d'une salinité et d'une dulcification nettement plus marquées qu'aujourd'hui pourrait conduire à des problèmes d'adaptation de la biocénose. Si le niveau sur le Mono et les systèmes lagunaires ne sont pratiquement pas modifiés par rapport à la situation naturelle, les lâchers de turbinage en pointe durant l'étiage provoqueront des érosions ponctuelles de berges entre Adjarala et Athérné.

Du point de vue sédimentologique, on peut craindre, dans un délai de l'ordre de une à deux générations, une érosion des berges, des recoupements des méandres libres, un recreusement du lit pouvant entraîner l'affouillement des ouvrages (endiguements, ponts) et l'abaissement du niveau des nappes phréatiques. On peut, à cet égard, rappeler que la mise en service du barrage d'Akossombo en 1963 a entraîné, en 1986, l'affouillement des piles du pont de la route internationale Accra-Lomé, située une quarantaine de kilomètres à l'aval.

Par suite de la liquidation progressive, de l'amont vers l'aval, du stock sédimentaire existant dans le lit et de la modification conséquente du rapport débit/charge, la capacité érosive du Mono va s'accroître vers l'aval. De ce fait, près de l'embouchure, le cordon littoral deviendra dans le même délai plus sensible aux crues, et sa rupture périodique à Grand-Popo paraît probable. Au-delà d'un délai de 25 ans, le déficit de saturation de la dérive littorale fera sentir ses effets.

De la même façon, la combinaison de la diminution des apports par la dérive littorale et du maintien de vitesses importantes dans l'embouchure, va entraîner la permanence de l'ouverture à Aného et une instabilité croissante de la Bouche du Roi. Au-delà d'un délai de 25 ans, il est possible que sur 12 à 13 km à l'est de la Bouche du Roi, se produise une érosion complète du cordon littoral, avec comme conséquences un recul accentué du trait de côte et une transformation de la lagune en espace marin.

On le constate, la très grande complexité des interactions en jeu dans cette zone rend les évolutions à moyen et long termes difficiles à déterminer avec précision. Les prévisions reposent sur des modélisations emboîtées, chaque modèle réutilisant, par nécessité, en tout ou en partie, les résultats des précédents. Or dans ce cas précis, la marge d'incertitude peut être importante. Elle est probablement faible sur les modèles fluviaux qui utilisent des levés de terrain (topographie, bathymétrie) très précis et nombreux ainsi que des données hydrologiques fiables. Il n'en est pas de même des modèles côtiers.

En effet, la décroissance dans le temps du transit littoral à la frontière Togo-Bénin est définie par le débit sédimentaire mesuré à la sortie du dernier des trois modèles physiques emboîtés utilisés pour étudier l'évolution du littoral togolais en présence du beach-rock³ et des ouvrages de protection. Or, les observations certes précises qui ont permis le réglage des modèles, portent sur une période courte (un an). En particulier, il repose sur une estimation de l'érosion de la côte à l'amont - dérive de Kpémé lors d'un cycle annuel «moyen» de houle, c'est-à-dire correspondant à des situations théoriques de forte occurrence, mais pas forcément représentatives d'une succession naturelle d'années aux conditions hydrologiques aléatoires. Enfin, il convient de ne pas oublier qu'une modélisation repose, par principe, sur une schématisation et des réductions d'échelles. Il serait illusoire de vouloir traduire à travers cette représentation et cette interprétation de phénomènes naturels, la grande complexité de l'évolution hydro-sédimentaire de détail d'un littoral, fut-il, comme celui du golfe du Bénin, un véritable cas d'école.

En dépit de leur précision, les résultats des modélisations comportent une marge d'erreur croissante dans le temps. S'agissant d'interactions de dynamiques complexes, générant des impacts dont les conséquences économiques, sociales, voire politiques⁴, peuvent être importantes, on est conduit à tenter d'imaginer comment gérer cette incertitude. Dans les faits, seul un programme de suivis hydrologique et morpho-sédimentaire est susceptible de préciser les évolutions et de permettre un réajustement périodique des prévisions modélisées. Un tel suivi offre l'avantage de permettre de savoir périodiquement, d'une part laquelle des hypothèses encadrantes doit être retenue, et à l'intérieur de cette hypothèse, la validité des quantifications retenues. Mais il faut reconnaître que s'il est relativement aisé de trouver des financements pour des études préliminaires et pour des travaux, les bailleurs de fonds sont très réticents pour financer de tels programmes. Et pourtant, ce serait sans doute le meilleur moyen - et le

3- Rossi, 1988.

4- L'érosion du cordon littoral aurait pour effet de déplacer la frontière Togo-Bénin de 15 km vers l'est.

moins onéreux - de prévoir et de gérer au mieux un futur qui, en dépit des remarquables progrès accomplis dans les modélisations et la prévision ces dernières années, demeure largement incertain.

BIBLIOGRAPHIE

- GERMAIN, P.** - Contribution à la connaissance du Quaternaire récent du littoral dahoméen. *Bull. ASEQUA* (Dakar), 1975, pp. 44-45 et 33-45.
- GUILCHER, A.** - La région côtière du bas-Dahomey occidental (Afrique de l'Ouest). *Bull. IFAN*, XXI, sér. B (3-4), 1978, pp. 357-424.
- LACKNER et al.** - Etude de l'érosion du port de Lomé. Rapport d'étude. Bénin : Lomé : Ministère de l'Équipement.
- LANG, J. et PARADIS, G.** - Le quaternaire littoral béninois (Afrique de l'Ouest) - Synthèse des datations au Carbone 14. *In* : *Palaeogeography of Africa*. Rotterdam : Elsevier, vol. 16, 1984. pp. 65-76.
- LCHF** - Protection du littoral dans les zones de Kpémé et Aného. Rapport (l'étude). Lomé : Ministère du Plan, 1985.
- NEDECO** - Erosion littorale sur la côte togolaise. Rapport d'étude. Lomé : Ministère des Travaux Publics, 1975.
- NEDECO** - Erosion littorale sur la côte togolaise. Rapport d'étude. Lomé : Ministère des Travaux Publics, 1978.
- PARADIS, G.** - Observations sur l'Holocène récent du Sud Bénin. *Bull. ASEQUA* (Dakar), 1977, 51, pp. 49-73.
- RADU, T. et MOOR, K.** - Short term beach-profile fluctuation forecast of the West African coast. *In* : *Internat. Conf. on Coastal and Port Engineering in Developing Countries*. Colombo, 1983, pp. 26-42.
- ROSSI, G.** - Un exemple de protection naturelle contre l'érosion littorale : le grès de plage. *Rev. Géom. Dyn.* (Paris), XXXVII, 1988, 1.
- ROSSI, G.** - L'érosion du littoral dans le golfe du Bénin : un exemple de perturbation d'un équilibre morphodynamique. *Zeitschrift für Geomorphologie* (Berlin, Stuttgart), N.F., Suppl., Bd 73, 1989.
- ROSSI, G.** - Erosion du littoral et acteurs sociaux : l'exemple du Togo. *Bull. Ass. Geogr. Franç.* (Paris), 68 (3), 1990-1991, pp. 225-233.
- ROSSI, G.** - Etude des impacts hydrauliques et sédimentologiques du barrage d'Adjarala (Togo-Bénin). Rapport d'Études. Paris : Coyne et Bellier Bureau d'Ingénieurs Conseil. Bordeaux : Université de Bordeaux III, 1992, 105 p. et annexes.
- ROSSI, G. et ANTOINE, A.** - Impacts hydrologiques et sédimentologiques d'un grand barrage : l'exemple de Nangbéto (Togo-Bénin). *Rec. Géom. Dyn.* (Paris), XXXIX, 1990, 2.
- TASTET, J.P.** - Les formations sédimentaires quaternaires à actuelles du littoral du Togo et de la R.P. du Bénin. *Bull. AFEQ* (Paris), 1975, 50, pp. 155-167.
- UNIVERSITE DU BENIN. Lomé.** - Projet érosion littorale au Togo. Rapport d'étude et propositions d'aménagement. Lomé, 1984, 80 p. et annexes.

La côte à Aneho après la construction des ouvrages de protection

(Cliché : G. Rossi)